Einflußgrößen und Auswirkungen der zentralisierten Stückgutverteilung in Ballungsräumen

Rainer Doll

1981

EINFLUSSGRÖSSEN UND AUSWIRKUNGEN DER ZENTRALISIERTEN STÜCKGUTVERTEILUNG IN BALLUNGSRÄUMEN

Inaugural-Dissertation
Zur Erlangung des Grades Doctor rerum politicarum (Dr.rer.pol.)
an der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Rainer Doll

1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Referent: Prof. Dr. F. Hanssmann
Korreferent: Prof. Dr. K. Oettle
Promotionsabschlußberatung: 23. Februar 1981

Inhalt

		Seite
Vorwort		1
I. KAPITEL: Einleitung und Problemstellung		
1.1.	Verkehr und Infrastruktur in Ballungsräumen	3
1.2.	Auswirkung des konzentrierten Güterumschlags auf die Verkehrssituation	7
1.3.	Funktionen und Arbeitsweise von Güterverteilzentralen	8
1.4.	Istzustand des Stückgutverkehrs in den Ballungsräumen	11
1.4.1.	Definition Stückgut	11
1.4.2.	Verkehrsträger	11
1.4.3.	Güter	14
1.5.	Möglichkeiten der Einführung von Güterverteilzentralen	17
2.	Bisherige Forschungsansätze und Ergebnisse	20
2.1.	Dornier System: Kosten-Nutzen-Analyse eines zentralen Güterverteilsystems, dargestellt am Beispiel eines Ballungsraumes	20
2.2.	Dorsch Consult: Überregionales Großumschlagszentrum im Raum München	23
2.3.	Dornier System: Gestaltung von Güterverteilzentralen	26
2.4.	Doll: Technische Konzeptionsmöglichkeiten und deren kostenmäßige Bewertung bei der Gestaltung von Güterverteilzentralen	32
2.5.	Schwerdtfeger: Städtischer Lieferverkehr	35
3.	Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	36
3.1.	Die Entscheidungsalternativen	37
3.2.	Die Entscheidungskriterien	40
3.2.1.	Definition der Entscheidungskriterien	41
3.3.	Entscheidungsvarianten	41
3.4.	Umweltrestriktionen	42
II.KAPITEL: Modellentwicklung und Modellvalidierung		
4.	Modellentwicklung	43
4.1.	Datenmaterial	45
4.2.	Überblick über den Simulationsablauf	46
4.3.	Die Modell-Umwelt	50

Inhalt

		Seite
4.3.1.	Der Ballungsraum	50
4.3.2.	Die Verkehrsverhältnisse	52
4.3.3.	Die Gutstrukturen	54
4.3.4.	Die Güterströme im Ballungsraum	56
4.3.5.	Restriktionen der Anlieferzeiten	62
4.3.6.	Sonstige Umweltrestriktionen	64
4.4.	Die Modellalternativen	67
4.5.	Die Modellvarianten	67
4.5.1.	Eigenschaften der Verteilfahrzeuge	70
4.5.2.	Größe des Fuhrparks	71
4.5.3.	Die Verteilrouten	75
4.5.4.	Minimal- und Maximalwerte für die Verteilung	76
4.5.5.	Der Standort der Umschlagsanlage	78
4.6.	Die Berechnung der Entscheidungskriterien im Modellauf	79
4.6.1.	Die Auslastung der Verteilfahrzeuge	79
4.6.2.	Der Umlauffaktor der Verteilfahrzeuge	80
4.6.3.	Zusammenhang zwischen Umlauffaktor und Auslastung der Verteilfahrzeuge	82
4.6.4.	Die Verteilstrecken und -zeiten	85
4.6.5.	Verteilweg und -zeit bezogen auf die Verteilleistung	86
4.6.6.	Die Durchlaufzeit der Sendungen im System	88
4.6.7.	Das Verkehrsaufkommen der GVZ	90
4.6.8.	Die Elastizität der Alternativen und Varianten	91
4.6.9.	Die Wirtschaftlichkeit der Alternativen und Varianten	91
4.6.10.	Werte der Fernfahrzeuge	93
4.7.	Sonstige Beziehungen und Restriktionen im Modell	93
4.7.1.	Die Arbeitszeit der Umschlagsanlage	93
4.7.2.	Fahrrouten der Fernfahrzeuge	95
4.8.	Schwachstellen des Modells	95
4.9.	Überprüfung des Modells durch Kontrolläufe	97

III.KAPITEL: Modelläufe

5.	Daten des Standardlaufs	105
5.1.	Stabilität der Simulationsergebnisse	106
5.2.	Einflußgrößen der Umwelt	114

Inhalt

		Seite
5.2.1.	Der Einfluß der Fläche des Ballungsraumes	115
5.2.2.	Der Einfluß der Geschwindigkeit im Ballungsraum	118
5.2.3.	Der Einfluß verschiedener Gutstrukturen	119
5.2.4.	Der Einfluß der Zahl von Sendungen pro Empfänger	127
5.3.	Einflüsse von Modellparametern	131
5.3.1.	Der Einfluß der Haltezeit bei den Empfängern	133
5.4.	Einflüsse der Modellvarianten	138
5.4.1.	Einfluß der Nutzlast der Verteilfahrzeuge	138
5.4.2.	Einfluß der Fuhrparkgröße	140
5.4.3.	Einfluß der Standorte der Umschlagsanlage	140
5.5.	Einflüsse der Modellalternativen	144
5.5.1.	Das Verkehrsaufkommen der verschiedenen Alternativen	152
IV.KAPITEL:	Diskussion der Simulationsergebnisse	
6.1.	Die Investitionskosten des Fuhrparks	155
6.2.	Die Betriebskosten des Fuhrparks und des Umschlags	157
6.3.	"Für und Wider" die Konzentration der Stückgutverteilung im Ballungsraum	166
V.KAPITEL:	Schlußfolgerungen und Empfehlungen	
7.1.	Die Untersuchungen der Einflußgrößen der Stückgutverteilung	171
7.2.	Konzentrationsmöglichkeiten	172
VI.ANHANG:	Tabellen der Einzelergebnisse der Simulationsläufe	
VII.	LITERATUR	

Verzeichnis der Tabellen

		Seite
Tabelle 1:	Entwicklung der Verkehrsleistung nach Verkehrsarten	4
Tabelle 2:	Unternehmen des Güternahverkehrs und ihre LKW in der Bundesrepublik	13
Tabelle 3:	Anzahl von Nahverkehrsunternehmen verschiedener Größenklassen in der Bundesrepublik	13
Tabelle 4:	Auszug aus der regionalen Verteilung der Lastkraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger des gewerblichen Nahverkehrs nach Länder-Regierungsbezirken und Kreisen	14
Tabelle 5:	Verkehrsaufkommen nach Güterbereichen und Verkehrsarten für 1960,1972 und 1990	15
Tabelle 6:	GVZ-Verkehrspotential 1973	18
Tabelle 7:	Daten für die Modellbildung von Güterverteilzentralen	28
Tabelle 8:	Umschlagssysteme für die GVZ-Modelle	29
Tabelle 9:	Investitions- und Betriebskosten verschiedener Umschlagssysteme pro Jahr	30
Tabelle 10:	Daten der Sektoren	53
Tabelle 11:	Eingabedaten der Sendungsstruktur in das Programm DISBAL	57
Tabelle 12:	Sendungsstrukturen nach einer Istaufnahme und resultierende Verteilungen für das Simulationsmodell	58
Tabelle 13:	Güterstruktur einer Spedition in Hannover	59
Tabelle 14:	Transportverflechtungsmatrix des Großraums Stuttgart	61
Tabelle 15:	Eingabedaten und Steuerparameter für das Programm DISBAL	68
Tabelle 16:	Eingabedaten der Verkehrsträger für das Programm DISBAL	69
Tabelle 17:	Zusammenstellung der freien Sammelkapazitäten des Fuhrparks pro Tag (Nutzlast 4000kp)	73
Tabelle 18:	Zusammenstellung der freien Sammelkapazitäten des Fuhrparks (Nutzlast 5000 kp)	74
Tabelle 19:	Fahrstrecke und -zeit der Verteilfahrzeuge	87

Verzeichnis der Tabellen

		Seite
Tabelle 20:	Minima, Maxima, Mittelwerte, Streuung und und Prozentabweichungen vom Mittelpunkt der Simulationsergebnisse der Läufe zur Untersuchung der Stabilität der Ergebnisse	113
Tabelle 21:	Minimalzahl Fahrzeuge bei verschiedenen Werten für Sendungen pro Empfänger und Tagesdurchsatz	128
Tabelle 22:	Minimalfuhrparks der GVZ-Klassen mit Fahrzeugen von 4000 und 5000 kp Nutzlast	148
Tabelle 23:	Maximalzahl Verteilfahrzeuge, die sich gleichzeitig im Ballungsraum aufhalten	151
Tabelle 24:	Das Verkehrsaufkommen der verschiedenen GVZ-Größenklassen	153
Tabelle 25:	Anzahl benötigter Verteilfahrzeuge und ihre Investitionskosten für einen Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesumschlag	156
Tabelle 26:	Kostenberechnung Verteilfahrzeug 4000 kp Nutzlast	159
Tabelle 27:	Kostenberechnung Verteilfahrzeug 5000 kp Nutzlast	160
Tabelle 28:	Berechnung der Betriebskosten des Fuhrparks der verschiedenen GVZ-Größenklassen für Fahrzeuge mit 4000 kp Nutzlast	161
Tabelle 29:	Berechnung der Betriebskosten des Fuhrparks der verschiedenen GVZ-Größenklassen für Fahrzeuge mit 5000 kp Nutzlast	162
Tabelle 30:	Betriebskosten von Güterverteilzentralen verschiedener Größenklassen in einem Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesdurchsatz	165

Tabellen im Anhang

		Seite
Tabelle A 1:	Einfluß von Simulationsdauer und Startzahl des Zufallsgenerators	A1.1-A1.6
Tabelle A 2:	Einfluß der Fläche des Ballungsraumes	A2.1,A2.2
Tabelle A 3:	Einfluß der Geschwindigkeit im Ballungsraum	A3
Tabelle A 4:	Einfluß der Sendungsstruktur	A4.1,A4.2
Tabelle A 5:	Einfluß der Zahl der Sendungen pro Empfänger	A5.1-A5.4
Tabelle A 6:	Erprobung Verteilroutine 2	A6
Tabelle A 7:	Einfluß der Maximalzahl Sendungen pro Fahrzeug	A7.1,A7.2
Tabelle A 8:	Einfluß der Minimalzahl Sendungen pro Fahrzeug	A8.1,A8.2
Tabelle A 9:	Einfluß des Kurvenzuschlags	A9.1,A9.2
Tabelle A10:	Einfluß der fixen Abfertigungszeit	A10.1,A10.2
Tabelle A11:	Einfluß der Nutzlast der Fahrzeuge	A11.1-A11.3
Tabelle A12:	Einfluß der Entfernung der Umschlagsanlage vom Mittelpunkt des Ballungsraums	A12.1,A12.2
Tabelle A13:	Einfluß des Standorts der Umschlagsanlage	A13.1,A13.2
Tabelle A14:	Einfluß verschiedener Größenklassen von GVZ (Nutzlast 4000 kp)	A14.1-A14.6
Tabelle A15:	Einfluß verschiedener Größenklassen von GVZ (Nutzlast 5000 kp)	A15.1-A15.10

Verzeichnis der Abbildungen

		Seite
Bild 1:	Grundfunktionen einer Güterverteilzentrale	9
Bild 2:	Durchschnittsgewichte von Sendungen bei verschiedenen Verkehrsträgern	16
Bild 3:	Bestimmungsgrößen für Eigenschaften und Größe eines Fuhrparks	38
Bild 4:	Aufbau des Ballungsraums für das Simulationsmodell	51
Bild 5:	Bestimmung des "Kurvenfaktors" ZUKURV"	54
Bild 6:	Verlauf der Maximalzahl Sendungen, die ein Verteilfahrzeug laden darf, über den Tag	63
Bild 7:	Verteilung der Ein- und Ausgänge der Verteilfahrzeuge über den Tag (Kontrollauf für Sped. München I)	65
Bild 8:	Verteilung der Ein- und Ausgänge der Verteilfahrzeuge über den Tag (Kontrollauf für Sped. München II)	66
Bild 9:	Routenfestlegung nach ROUTE 1	77
Bild 10:	Routenfestlegung nach ROUTE 1	77
Bild 11:	Berechnung der Auslastung der Verteilfahrzeuge	79
Bild 12:	Auslastungsprofile der Verteilfahrzeuge	81
Bild 13:	Auslastungsprofil eines Fuhrparks	83
Bild 14:	Zusammenhang zwischen Tagesdurchsatz, Auslastung der Verteilfahrzeuge und Umlauffaktor	84
Bild 15:	Darstellung der Verteilung der Fahrzeiten der Verteilfahrzeuge	87
Bild 16:	Berechnung der Durchlaufzeiten der Sendungen und der Fahrzeiten der Fahrzeuge	89
Bild 17:	Schwankungen des Ein- und Ausgangsgewichts der Sendungen über den Simulationszeitraum	92
Bild 18:	Auslastungsprofil der Nahfahrzeuge (Kontrollauf München I)	99
Bild 19:	Auslastungsprofil des Fuhrparks(Kontrollauf München I)	99
Bild 20:	Verteilung der Fahrzeiten der Verteilfahrzeuge (Kontrollauf München I)	100
Bild 21:	Auslastungsprofil der Nahfahrzeuge (Kontrollauf München II)	102

Verzeichnis der Abbildungen

		Seite
Bild 22:	Auslastungsprofil des Fuhrparks (Kontrollauf München II)	102
Bild 23:	Verteilung der Fahrzeiten der Verteilfahrzeuge (Kontrollauf München II)	105
Bild 24:	Simulationsergebnisse in Abhängigkeit von Simulationsdauer und Startwert des Zufallsgenerators	109
Bild 25:	Prozentuale Abweichung der Einzelergebnisse der Simulationen vom Mittelwert aller Simulationen und Prozentsatz der Streuung der Simulationen gleicher Dauer bezogen auf den Mittelwert aller Simulationen	110
Bild 26:	Simulationsergebnisse in Abhängigkeit von der Verteilmenge pro Tag	111
Bild 27:	Einfluß des Durchmessers des Ballungsraumes auf Entscheidungskriterien	117
Bild 28:	Einfluß der Geschwindigkeit im Ballungsraum auf Entscheidungskriterien	120
Bild 29:	Einfluß der Sendungsstruktur auf Entscheidungskriterien	123
Bild 30:	Verteilung der Ein- und Ausgänge der Verteilfahrzeuge über den Tag (Sendungsstruktur SWS I)	124
Bild 31:	Verteilung der Ein- und Ausgänge der Verteilfahrzeuge über den Tag (Sendungsstruktur HAN I)	125
Bild 32:	Verteilung der Fahrzeiten der Verteilfahrzeuge (Sendungsstrukturen SWS I und HAN I)	126
Bild 33:	Einfluß der Zahl der abgeladenen Sendungen pro Empfänger	129
Bild 34:	Einfluß der "fixen Abfertigungszeit" beim Empfänger	136
Bild 35:	Vergleich der Fahrzeitverteilungen bei 5 und 10 Minuten fixer Abfertigungszeit	137
Bild 36:	Einfluß der Nutzlast der Verteilfahrzeuge	140
Bild 37:	Einfluß des Standortes der Umschlagsanlage	143
Bild 38a:	Einfluß der Größenklasse der GVZ	146
Bild 38b:	Einfluß der Größenklasse der GVZ	147
Bild 39:	Simulationsergebnisse der Läufe mit dem Minimalfuhrpark der jeweiligen GVZ-Größenklasse	150

Verzeichnis der Abbildungen

Seite

Bild 40: Anzahl benötigter Verteilfahrzeuge, Betriebskosten der verschiedenen Teilbereiche und Gesamt pro Jahr (Nutzlast Verteilfahrzeuge 4000 kp) 168

Bild 41: Anzahl benötigter Verteilfahrzeuge, Betriebskosten der verschiedenen Teilbereiche und Gesamt pro Jahr (Nutzlast Verteilfahrzeuge 5000 kp) 169

Vorwort

Eine Arbeitsgemeinschaft, die von den Firmen

Robert Bosch GmbH
Demag Fördertechnik
Dornier GmbH
IITB
ITE
Friedr. Krupp GmbH

gebildet worden war, legte im Jahre 1974 die Ergebnisse ihrer Untersuchungen über die Zentralisierung des Kleingutumschlages in Ballungsräumen vor. (ITE 1974)

Bereits zuvor (1972) hatte die Dornier System GmbH Untersuchungen zum Thema eines zentralen Güterverteilsystems für den Großraum Stuttgart vorgenommen und in einer Studie dokumentiert. (Dornier System GmbH, 1972)

Beide Untersuchungen kamen zu dem Schluß, daß die zentralisierte Güterverteilung große Chancen bietet, den Güterverkehr zu rationalisieren. Es wurde der Vorschlag gemacht, für die Gestaltung derartiger Systeme Leitlinien zu erarbeiten.

Im Juli 1974 vergab der Bundesminister für Forschung und Technologie einen diesbezüglichen Auftrag an eine Arbeitsgemeinschaft, gebildet vom Bundesverband des Deutschen Güterfernverkehrs (BDF) e.V., Frankfurt, und der Dornier System GmbH, Friedrichshafen. (Dornier System GmbH, 1975)

Die Firma Dornier System bot dem Verfasser der vorliegenden Arbeit 1974 an, an den Forschungsarbeiten in Teilbereichen mitzuwirken und über dieses Themengebiet eine Diplomarbeit anzufertigen. (Doll, 1975)

Der Abschlußbericht seitens Dornier System und BDF erschien im Dezember 1975.

Die Diplomarbeit und der Abschlußbericht befaßten sich mit den Möglichkeiten der technischen Ausrüstung von Fuhrpark und Umschlagsanlage eines zentralen Güterverteilsystems, sowie der Untersuchung der Investitions- und Betriebskosten verschiedener Layout-Alternativen. Dabei lag der Schwerpunkt auf den technischen und organisatorischen Gestaltungsmöglichkeiten der Umschlagsanlage.

Die vorliegende Arbeit dagegen konzentriert sich auf den Bereich des Fuhrparks. Untersucht werden die Auswirkungen des zentralen Umschlags auf die Auslastung, Fahrzeit und Fahrstrecke der Fahrzeuge und die Beeinflussung der Investitions- und Betriebskosten des Fuhrparks durch die Veränderung der Größenverhältnisse. Die Umschlagsanlage wird dabei im wesentlichen als "black box" betrachtet.

Trotz der Konzentration auf das "Umfeld" einer Güterumschlagsanlage werden im Kapitel I in groben Zügen die Funktionen und die Arbeitsweise einer Güterverteilzentrale beschrieben, um einen Überblick über das Gesamtsystem zu vermitteln.

Im wesentlichen hält sich die Gliederung dieser Arbeit an den von Prof. Hanssmann vorgeschlagenen Aufbau eines "Schlußberichts" (Hanssmann 1978, S. 121).

Zur Untersuchung der oben genannten Größen wurden Rechnungen mit Hilfe eines Simulationsmodells durchgeführt. Die im Modell verwendeten Annahmen und Beziehungen wurden durch Gespräche mit folgenden Dienststellen der Post und Speditionsunternehmen abgesichert:

Postfuhramt - Bereich Land -, München
Paketpostamt 3, München
Fa. Ascherl + Co, München
Fa. Schenker, München
Fa. STG (Süddeutsche Transport Gesellschaft), München
Fa. SWS Südwestdeutsche Speditions- und Transportgesellschaft, Karlsruhe

I. Einleitung und Problemstellung

1.1. Verkehr und Infrastruktur in Ballungsgebieten

Die Situation des Verkehrs in den Ballungsräumen und insbesondere in ihren Kernen ist heute gekennzeichnet durch seine hohe Dichte, häufige Stauungen und, daraus resultierend, durch seine niedrigen Durchschnittsgeschwindigkeiten. Schon 1963 schrieb Predöhl den Satz:" In Kerngebieten macht sich allerdings in zunehmendem Maß die Verstopfung der Straßen, insbesondere der großen Städte geltend..." (Predöhl 1963, S.67). Daß diese damals schon einsetzende Entwicklung nicht zum völligen Kollaps des Verkehrs in den Innenstädten zur Folge hatte, ist dem großzügigen Ausbau und Neubau von Straßen und anderen Verkehrsbauwerken zu verdanken, auch wenn dies zahlreiche negative Folgen für das Stadtbild und die Lebensbedingungen der Menschen in den Städten zeitigte. Der Verlust an "Urbanität" geht in nicht geringem Maße auf den rigorosen Straßenausbau in den Innenstadten zurück.

Mit Ende der 60er Jahre fing das Bewußtsein dieser Problematik sowohl bei den Betroffenen als auch bei Stadtplanern und Verkehrswissenschaftlern zu wachsen an. Die Flächenkapazität für weitere Verkehrsbauwerke war weitgehend erschöpft. Da aber die Verkehrsprognosen auf ein weiteres Wachstum sowohl des Personenverkehrs als auch des Güterverkehrs in den Ballungsräumen hindeuteten, mußten für die Bewältigung des Zuwachses neue Wege gefunden werden. (vergl. Tab.1)

Beispielhaft für dieses Umdenken stehen zwei Sätze von Sieverts, die bei einem Podiumsdialog 1974 gesprochen wurden:
"Nicht die unkritische Nachfrageprognose und die sich daraus ergebenden technischen Maßnahmen der Nachfrageerfüllung stehen im Vordergrund, sondern die Feststellung der Kapazität von Systemen..." (Quelle: DVWG,1975)

Tabelle 1: Entwicklung der Verkehrsleistung nach Verkehrsarten: (Mrd t km) Quelle: Frank, 1976, S. 65

Verkehrsart	1960	1972	1990
Straßengüternahverkehr	19	39	73
Güterfernverkehr	119	176	262
davon: Eisenbahn	52	63	92
Binnenschiffahrt	40	44	63
Straßenverkehr	24	50	81
Rohrfernleitungen	3	19	26
Summe	138	215	335

"Dies bedeutet sicherlich auch eine Schwerpunktverlagerung auf Fragen der Verkehrsorganisation, die nicht mit primär baulichen Mitteln gelöst werden können, sondern mehr mit organisatorischen Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen." (DVWG 1975, S.37)

Die Begriffe "Kapazität" und "Organisation" bezogen sich bei diesem Dialog hauptsächlich auf die Kapazität der Infrastruktur des Verkehrs (= Zahl der durchgeschleusten Fahrzeuge pro Zeiteinheit) und die Organisation des Verkehrsflusses (z.B. Einbahnstraßen, Ampelanlagen, Vorfahrtsregelungen).

Betrachtet man "Verkehr" jedoch nicht als Strom von Fahrzeugen, sondern als die Erfüllung von Transportbedürfnissen - also das Transportieren von Menschen oder Gütern von Punkt A nach B - so wird der Begriff der Kapazität von der Zahl der Fahrzeuge losgelöst und die Kapazität lediglich an der Zahl der beförderten Menschen oder Güter pro Zeiteinheit gemessen.

Dadurch wird der Begriff der Kapazität der Infrastruktur verändert, denn der bestehende Verkehrsstrom wird nicht mehr als statische Größe betrachtet, sondern als weitere Entscheidungsgröße werden die Modalitäten der Befriedigung der Transportbedürfnisse und dadurch die Zahl und Art der

Fahrzeuge eingebracht. So entsteht beim Personenverkehr die Alternative Individualverkehr oder Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel (gebündelter Verkehr) mit allen nur denkbaren Zwischenstufen. Beide Alternativen sind geeignet, die Transportbedürfnisse in Städten zu befriedigen, wenn auch mit erheblichen Unterschieden in den Randbedingungen (wie z.B. Bequemlichkeit, Schnelligkeit, Wirtschaftlichkeit). Findet die Personenbeförderung auf den Straßen jedoch nicht mehr mit (schwach besetzten) PKW, sondern mit Bussen statt, so liegt die Kapazität einer Straße - gemessen an der Zahl der beförderbaren Menschen - um ein Mehrfaches höher.

Doch bleiben wir beim Güterverkehr. In diesem Bereich erhöht eine Bündelung von Transporten - ebenso wie im Personenverkehr - die Kapazität der Verkehrsinfrastruktur, wenn es möglich ist, die gleiche Gütermenge mit weniger Fahrzeugen und/oder kürzeren Lieferrouten zu transportieren, d.h. Auslastung und Umlaufgeschwindigkeit der Fahrzeuge zu erhöhen. Dies zu erreichen ist jedoch bei der bisherigen Struktur der Güterverteilung und der Verkehrsträger nicht möglich, da ein Verkehrsträger in der Regel eine bestimmte Menge Güter in einer Zeiteinheit zu transportieren hat und dazu einen konstanten Fuhrpark verwendet, den er vorhalt, um die Transporte mit einer gewissen Schnelligkeit durchführen zu können. D.h. um einen höheren "Bündelungsgrad" der Gütertransporte (vergl. Doll 1975, S.1) zu erreichen, ist einmal Voraussetzung, daß die Fahrzeuge eine Auslastungsreserve besitzen und zum anderen, daß die Gutmenge, die von einem gegebenen Fuhrpark befördert werden soll, erhöht wird.

Nach Schätzungen von Dornier System entstehen in einem Ballungsraum mit 1 Million Einwohnern pro Tag etwa 125.000 LKW-Fahrten in allen Wirtschaftsbereichen, wobei sich die Mehrzahl der Fahrten in der Relation Innen - Innen abspielt. (d.h. Start- und Zielpunkt der Fahrzeuge liegen innerhalb des Ballungsraumes) (Dornier System 1975, S. 2-17)

Viele der Empfänger werden dabei täglich von Fahrzeugen verschiedener Verkehrsträger angefahren. Besonders deutlich wird dies sichtbar zur Zeit der Belieferung des Einzelhandels im Stadtkern, wo sich die verschiedenen "Lieferanten" buchstäblich die Klinke in die Hand geben. Ähnlich, wenn auch nicht so krass, geht es bei Industrie- und Dienstleistungsbetrieben im äußeren Verdichtungsgebiet zu. Mißt man auch in diesem Bereich die Kapazität der Infrastruktur nicht an der Zahl der durchgeschleusten Güterfahrzeuge, sondern an der Menge der befriedigten Transportbedürfnisse, so ist es denkbar, die bisher starre "Verkehrskapazität" durch neue Organisationsformen im Güterverkehr zu erhöhen.

Aus derartigen Überlegungen ging die Idee der "Güterverteilzentrale" hervor, die den Umschlag von Stückgütern eines Ballungsraumes konzentrieren und so die Voraussetzung schaffen sollte, sowohl den Umschlag als auch die Verteilung der Stückgüter zu rationalisieren.

Der Anteil der Lastkraftwagen an der Zahl der Fahrzeuge im Verkehr eines Ballungsraums liegt lediglich zwischen 10% (im inneren Stadtgebiet) und 31% (am Stadtrand), sie beeinflussen jedoch den Verkehrsfluß wegen ihrer Größe und Schwerfälligkeit viel stärker, als es diesem Anteil entsprechen würde. (Dornier System 1973, S.32)

Einen LKW setzt man in der Literatur mit 2,5 - 3,0 Personenkraftwageneinheiten gleich (PKWE).

Aus diesen Überlegungen heraus scheint es daher sinnvoll und mit Aussicht auf Erfolg, die Infrastruktur der Städte auch im Bereich des Güterverkehrs zu entlasten.

Zwei weitere Gründe - außer der Ausschöpfung der Kapazität der Infrastruktur der Ballungsräume - traten seit Anfang bzw. Mitte der 70er Jahre zunehmend in den Vordergrund, sich um eine Verringerung des Verkehrs zu bemühen:

- das stark gewachsene Bewußtsein für die Umweltbelastungen (Lärm, Schadstoffe), die in den Ballungsgebieten zum großen Teil durch den Verkehr verursacht werden, und
- die zunehmende Verteuerung (und Verknappung) der Treibstoffe, deren Kosten direkt vom Verkehrsaufkommen abhängig sind.

Zudem wurde der Wettbewerb der Verkehrsträger in den letzten Jahren wesentlich härter, so daß die Unternehmen gezwungen sind, stärker als bisher auf die Wirtschaftlichkeit ihres Leistungsangebotes zu achten und Möglichkeiten der Einsparung von Kosten pro Leistungseinheit zu suchen.

1.2. Auswirkung des konzentrierten Güterumschlags auf die Verkehrssituation

Voraussetzung für eine Bündelung der Gütertransporte und Schaffung " einer Art von Logistik für die bessere Bereitstellung von Verkehrskapazitäten", wie dies Bundesverkehrsminister Gscheidle im Januar 1980 beim "Verkehrspolitischen Jahresgespräch" gefordert hat (FAZ 23.1.1980, S. 13), ist die Einführung von "Güterverteilzentralen" (GVZ), in denen größere Gütermengen umgeschlagen werden, als dies heute i.a. bei den einzelnen Verkehrsträgern möglich ist.

Der konzentrierte Umschlag der Güter schafft die Möglichkeit, den Lieferverkehr in den Ballungsräumen effektiver zu gestalten und die Fuhrparks dadurch besser auszulasten, daß für die Fläche eines Ballungsraumes bei einem Verkehrsträger mehr Sendungen anfallen als vorher. Damit wird die Lieferfläche, die ein Fahrzeug zu bedienen hat, kleiner, und die Entfernung zwischen den Lieferpunkten verringert sich.

Dies bedeutet, daß auch die Lieferzeiten geringer werden, weil die Fahrzeiten zwischen den Empfängern kleiner sind.

Dadurch steigt die Lieferleistung (=verteilte Sendungen pro Zeiteinheit), d.h. ein Güterfahrzeug kann eine größere Zahl von Empfängern mit Sendungen bedienen, wodurch die Auslastung des Fahrzeugs gesteigert werden kann.

Umgesetzt auf die gesamte Transportnachfrage im Stückgutbereich eines Ballungsraumes, bedeutet die Einführung von GVZ, daß dieselbe Gütermenge mit weniger Fahrzeugen zu transportieren ist und diese Fahrzeuge noch dazu eine geringere Gesamtfahrleistung aufweisen. Beide Effekte wirken sich sowohl auf den fließenden wie auf den ruhenden Verkehr positiv aus, da der Anteil an Lastkraftwagen am Gesamtverkehr zurückgeht.

1.3. Funktionen und Arbeitsweise von Güterverteilzentralen

Dornier System definiert eine GVZ als "...infrastrukturelle Umschlagseinrichtung, die als Nahtstelle zwischen verschiedenen Transportwegen und Transportmitteln für einen Verdichtungsraum die Sammlung und Verteilung, den Umschlag, die Zwischenlagerung sowie weitere Dienste anbietet." (Vergl. Dornier System 1975, S.1-8)

Der Zusatz "infrastrukturell" soll dabei deutlich machen, daß die Einrichtung eines solchen Systems von der Größenordnung ihrer Umschlagsanlage und ihres Transport- bzw. Verkehrsaufkommens her nicht nur eng begrenzte, sondern umfassende Auswirkungen auf den Güterverkehr und auf die Belastung der Infrastruktur eines Ballungsraumes hat.

Als Untergrenze, ab der ein Umschlagsplatz für Stückgüter als GVZ bezeichnet wird, gelten etwa 500 Mp Tagesdurchsatz an Gütern durch das Gesamtsystem.

Bild (1) zeigt die Grundfunktionen einer GVZ. Auf der Seite der Eingangsrampen gehen Sendungen ein, die aus dem Nah- (= aus dem Ballungsraum) und dem Fernverkehr eingehen. Die Sendungen, die aus dem Ballungsraum eingehen, werden sowohl mit Fahrzeugen der GVZ, die die Güter bei den

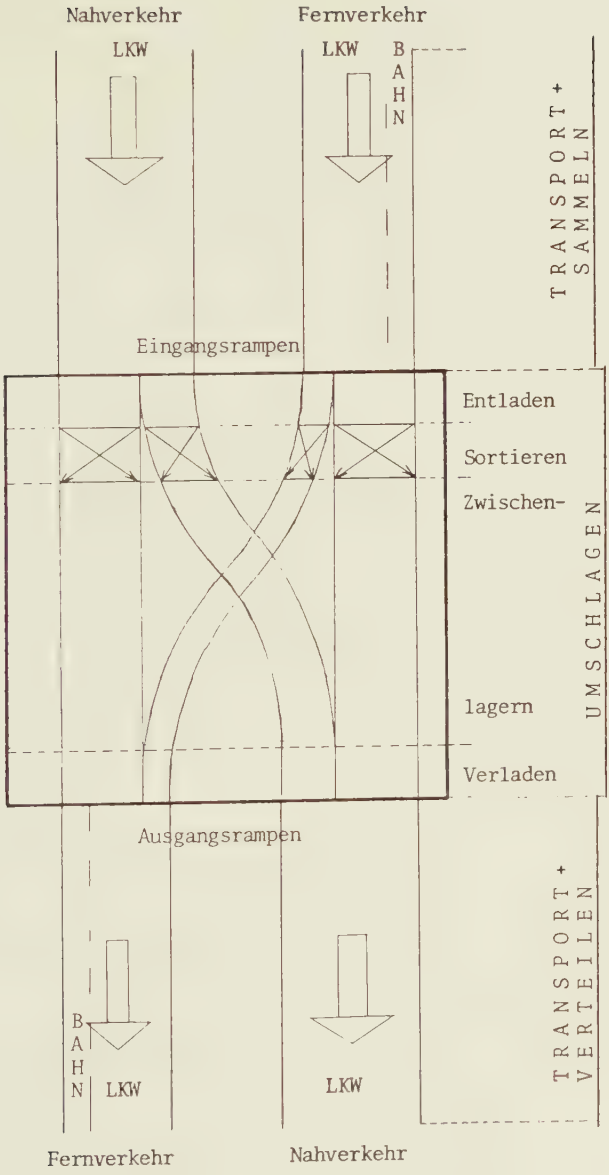


Bild 1: Grundfunktionen einer Güterverteilzentrale
(entnommen aus: Doll 1975, S.29)

Versendern einsammeln, oder durch Fremdfahrzeuge angeliefert. Diese Sendungen sind zum größten Teil zum Versand in den Fernbereich bestimmt.

Die Sendungen aus dem Fernbereich kommen mit LKW oder per Bahn zur Umschlagsanlage (Hauptlauf). Die Sendungen beider Relationen (aus Nah- und Fernverkehr) werden nach dem Entladen aus den jeweiligen Fahrzeugen nach ihrem Bestimmungsort sortiert, zu bestimmten Stellplätzen gebracht und dort zwischengelagert, bis ein Fahrzeug (LKW oder auch Waggon) für die Versandrichtung geladen wird, zu der der Bestimmungsort der Sendung gehört.

Innerhalb des Ballungsraumes werden die Sendungen mit eigenen (zumindest selbst gesteuerten) Fahrzeugen verteilt, die jeweils festgelegte Gebiete des Ballungsraums bedienen (Nachlauf).

Das Sammeln der Sendungen (Vorlauf), die innerhalb des Ballungsraumes abgesendet werden, kann durch einen eigenen "Sammelfuhrpark" oder so durchgeführt werden, daß die Verteilfahrzeuge im Anschluß an eine "Verteiltour" eine "Sammeltour" fahren.

Neben den Grundfunktionen

- Sammeln der Stückgüter im Ballungsraum
- Umschlagen der eingehenden Stückgüter aus dem Ballungsraum und dem Fernverkehr in den Nah- und Fernbereich
- Zwischenlagern
- Verteilen der Sendungen im Ballungsraum

kann eine GVZ auf Grund ihrer Größe weitere Aufgaben übernehmen wie:

- Einlagern von Gütern (Fertigwarenlager)
- Kommissionieren von Sendungen (Auslieferungslager)
- Verpacken von Gütern
- Autohoffunktion

(vergl. Doll 1975, S 27/28)

Bei der Klassifizierung der Größe von GVZ hält sich diese Arbeit an die von Dornier System eingeführte, die sich am durchschnittlichen Tagesumschlag orientiert:

GVZ 500 = GVZ 1 ≙ 500 Mp Tagesumschlag
GVZ 1000 = GVZ 2 ≙ 1000 Mp -"-
GVZ 2000 = GVZ 3 ≙ 2000 Mp -"-
GVZ 5000 = GVZ 4 ≙ 5000 Mp -"-
GVZ10000 = GVZ 5 ≙10000 Mp -"-

1.4. Istzustand des Stückgutverkehrs in den Ballungsräumen

1.4.1. Definition Stückgut

Unter Stückgut werden in dieser Arbeit alle jene Güter verstanden, die mit "leichten" Lastkraftwagen bis ca. 5 Mp Nutzlast transportiert werden können und dürfen und problemlos be- und entladen können. Die Güter sind durch Verpackung, Palettierung oder durch ihre physikalischen und sonstigen Eigenschaften vor Beschädigung und Verderb durch Transport oder Handling geschützt. Als Gewichtsobergrenze werden etwa 2000 kp pro Sendungseinheit angesehen.

Diese Abgrenzung wurde deshalb so weit gefaßt, um das weite Spektrum der Sendungen abdecken zu können, das bei vielen Speditionsbetrieben und den anderen relevanten Verkehrsträgern vorhanden ist.

Massen- und Schüttgüter sind ausgeschlossen.

1.4.2.Verkehrstrager

Am Stückgutverkehr der Ballungsräume sind im wesentlichen folgende Verkehrsträgertypen beteiligt (ITE 1974, S4.4)

- Werknahverkehr
- Werkfernverkehr
- Spediteur - Sammelgut/Straße
- Deutsche Bundesbahn/Stückgut
- Deutsche Bundesbahn/Expressgut

- Gewerblicher Güternahverkehr
- Gewerblicher Güterfernverkehr
- Deutsche Bundespost/Paketdienst
- Spediteur Bahnsammeldienst

Diese Verkehrsträger sind jeweils im selben geographischen Gebiet tätig und bedienen großteils dieselben Güterquellen und -senken.

Teilweise sind diese Verkehrsträger weiter in einzelne Betriebseinheiten aufgesplittert.
So unterhält die Bundesbahn in München fünf Stückgutbahnhöfe.

Am stärksten zersplittert ist der Bereich des Werknah- und -fernverkehrs, zu dem auch Groß- und Einzelhandelsverkehre zählen.

Auch der gewerbliche Sektor ist in zahlreiche Betriebe gegliedert.

Tabelle 2 zeigt die Zahl der Betriebe des gewerblichen Güternahverkehrs, geordnet nach Bundesländern. Danach existierten im Nov. 1977 im Bundesgebiet über 42 000 Unternehmen dieser Art, die zusammen über 116 700 LKW einsetzen.

Bei einer großen Zahl der Betriebe des Gewerblichen Nahverkehrs kann nicht davon ausgegangen werden, daß sie eigene Umschlagsanlagen betreiben. Viele von ihnen sind auf bestimmte Güter spezialisiert oder haben feste Transportverträge mit Industrie-, Handels- und Speditionsunternehmen.

Eine Umfrage von Dorsch Consult 1972 in München ergab, daß sich ca. 115 Unternehmen mit dem Umschlag von Stückgütern befassen, (Dorsch Consult 1973, S.121)

Tab. 2: Unternehmen des Güternahverkehrs und ihre LKW in der Bundesrepublik, Stand Nov. 1977 nach Bundesländerrn (Quelle: BFG o.J., S.5)

Land	Anzahl Unternehmen	Lastwagen	LKW pro Unternehmen
Schleswig Holstein	1 687	4 632	2,7
Hamburg	1 179	3 957	3,4
Niedersachsen	4 014	12 089	3,0
Bremen	486	1 715	3,5
Nordrhein-Westfalen	11 502	33 635	2,9
Hessen	3 952	10 072	2,5
Rheinland-Pfalz	3 229	7 474	2,3
Baden-Württemberg	7 122	17 807	2,5
Bayern	7 745	20 648	2,7
Saarland	799	1 745	2,2
Berlin	810	2 995	3,7
Bundesgebiet	42 525	116 769	2,7

Wie der geringe Durchschnitt von 2,7 LKW pro Betriebseinheit zeigt, handelt es sich um einen weitgehend mittelständisch strukturierten Wirtschaftszweig. Dies zeigt auch Tabelle 3, wonach von rd. 42 500 Betrieben insgesamt 20 877 lediglich einen einzigen LKW besitzen, demnach als typische "Einmann-unternehmen" bezeichnet werden können. Über 85% der Unternehmen besitzen nicht mehr als 4 Lastkraftwagen.

Tabelle 3: Anzahl von Nahverkehrsunternehmen verschiedener Größenklassen in der Bundesrepublik (Stand Nov.1977) (Quelle: BFG, S.5)

Maximalzahl LKW	Anzahl Unternehmen	Maximalzahl LKW	Anzahl Unternehmen
1	20 877	7	743
2	8 788	8	497
3	4 517	9	351
4	2 553	10	312
5	1 553	11 und mehr	1 218
6	1 116	Summe	42 525

Die Zahl der Lastkraftwagen, die in einzelnen Städten im gewerblichen Güternahverkehr zugelassen sind, zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: Auszug aus der regionalen Verteilung der Lastkraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger des gewerblichen Nahverkehrs nach Länder-Regierungsbezirken und Kreisen. (Stand Nov. 77) (Quelle:BFG, S.19ff)

Landkreis	LKW insgesamt	LKW o. Anhänger > 4 to	LKW o. Anhänger KFZ mit Anhänger < 4 to
Kiel	366	277	53
Hamburg	3 957	2 055	1 093
Braunschweig	389	275	50
Hannover	1 155	640	331
Bremen-Stadt	1 485	876	307
Düsseldorf	1 426	913	273
Köln	2 059	1 342	372
Frankfurt	1 606	1 047	355
Stuttgart	1 344	947	196
München	1 627	930	490
Nürnberg	877	508	283
Saarbrücken	644	469	101

1.4.3. Güter

Die Entwicklung des Güterverkehrs bis zum Jahre 1990, geordnet nach verschiedenen Wirtschaftszweigen, zeigt Tabelle 5. Danach wird mit einem Anwachsen der gesamten Tonnage von 3027 Mio Mp in 1972 auf 5248 Mio Mp in 1990 gerechnet, wobei der Nahverkehr etwas stärker wachsen soll als der Fernverkehr.

Die Durchschnittsgewichte der Sendungen bei den verschiedenen Stückgutverkehrsträgern zeigt Bild 2.

Nach Untersuchungen von Dornier betrug das Gutpotential, das für einen Umschlag in Güterverteilzentralen in Frage kommt, bei allen Verkehrsträgern 1973 rund 185 Mio Mp, was einem Anteil von 5,8% aller im Bundesgebiet beförderten

Tab.5: Verkehrsaufkommen nach Güterbereichen und Verkehrsarten für 1960, 1972 und 1990 in Mio Mp

Güterbereiche	1960			1972			1990		
	Summe	Str.Güter-nahverkehr	Straßen-Güter-fernverk.	Summe	Str.Güter-nahverk.	Straßen-Güter-fernverk.	Summe	Str.Güter-nahverk.	Straßen-Güter-fernverk.
Landw.Erzeugnisse	48	23	4,8	57	26	7,7	61	29	10,2
Nahrungs-u.Futtermittel	112	85	17,2	151	99	35,9	172	98	54,0
Kohle	214	66	2,2	136	34	1,1	124	19	0,0
Rohöl	25	4	0,2	89	0	0,0	122	0	0,0
Mineralölprodukte	65	32	5,4	230	135	11,8	303	182	12,4
Eisenerze	53	1	0,0	54	0	0,0	82	0	0,0
NE-Metallerze,Schrott	39	12	0,8	41	12	1,4	51	15	2,5
Eisen,Stahl,NE-Metalle	77	24	11,2	115	29	16,3	223	33	26,8
Steine u. Erden	787	675	29,5	1618	1455	48,3	3192	2937	76,5
Chem.Erzeugnisse, Düngemittel	72	25	5,3	278	202	20,2	560	448	40,3
Investitionsgüter	29	15	6,8	73	42	18,1	148	89	40,7
Verbrauchsgüter	149	103	25,1	185	106	50,8	210	95	80,8
Summe	1670	1065	103,5	3027	2140	211,6	5248	3945	344,2

(Quelle: Frank 1976, S.67) In den Summen sind die Leistungen aller Verkehrsarten enthalten

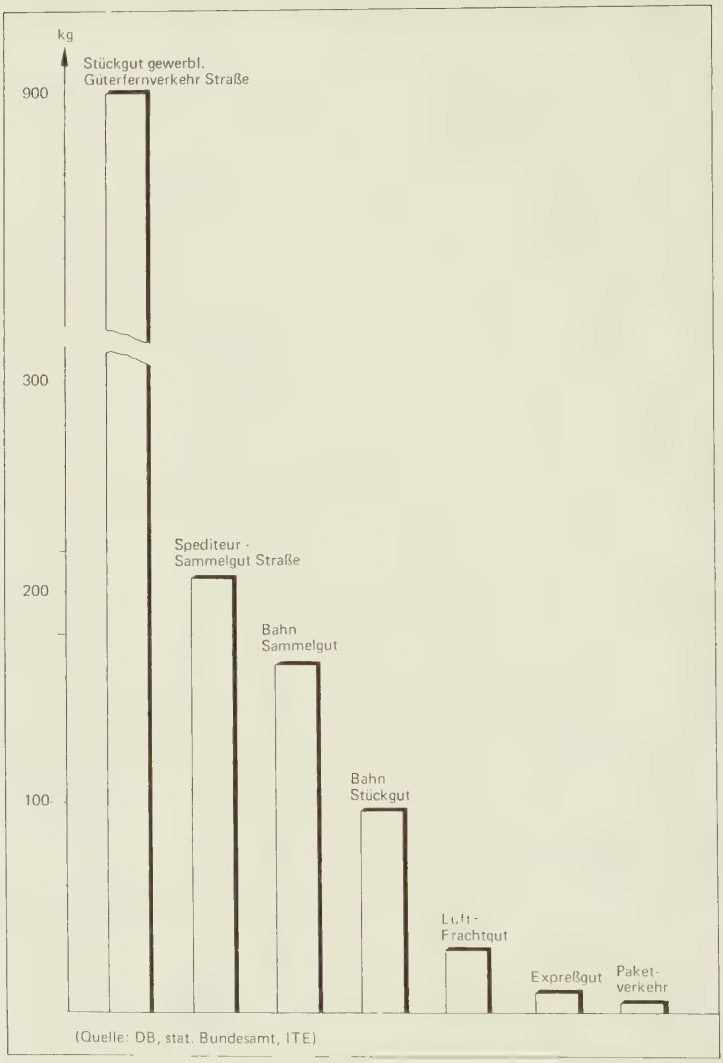


Bild 2: Durchschnittsgewichte von Sendungen bei verschiedenen Verkehrsträgern (entnommen aus: Dornier System 1975,S.1-5)

Güter entspricht (3 170 Mio Mp). Die Aufteilung auf die einzelnen Verkehrsträger zeigt Tab.6. (vergl. Dornier 1975, S.2-23ff).

Die frühere Untersuchung in Stuttgart ergab einen Gewichtsanteil von GVZ-fähigen Gütern von 8,8%. Der Unterschied dürfte daher kommen, daß dort der Anteil der Güter mit hohem spezifischem Gewicht (Baustoffe, Kohle etc.) geringer ist als im Durchschnitt des Bundesgebietes (vergl. Dornier 1972, S.50). Dieser Anteil entspricht einem täglichen Umschlag von ca. 6000 Mp im Großraum Stuttgart.

Für München oder Hamburg rechnet man mit einem Anteil von ca. 10 000 Mp pro Tag.

1.5. Moglichkeiten der Einführung von Güterverteilzentralen

Für die Einführung von Güterverteilzentralen ist die Zentralisierung des Umschlags und die Disposition der Verteil- und Sammelfahrzeuge Voraussetzung.

Bisher gibt es in der BRD kaum Anlagen des gewerblichen Güterverkehrs, die im Nahbereich Größenordnungen von 500 Mp Tagesumschlag erreichen.

Für die Einrichtung einer Umschlagsanlage, die 500 Mp Durchsatz verkraftet, müssten erhebliche Kapitalmittel eingesetzt werden, um bestehende Anlagen zu vergrößern oder neu aufzubauen. Meist können diese Mittel von einzelnen Speditionen nicht oder nur schwer aufgebracht werden.

Dornier System und Dorsch Consult schlagen daher Kooperationen oder Fusionen von Verkehrsbetrieben (und auch Versendern) vor, die eine GVZ gemeinsam betreiben sollen.

Dies hätte gleichzeitig den Vorteil, daß jeder der Beteiligten seinen "Marktanteil" mit einbringen kann und so der

Tab.6: GVZ-Verkehrspotential 1973

Verkehrstrager	Beforderungs-menge(Mio Mp)	ØSendungs-größe(kp)	Anzahl Sendungen bzw.Beförderungs-fälle(Mio)
Postpaketverkehr	1,5	4,9	298,0
Bahn-Stückgut	4,1	95,0	43,2
-Expressgut	0,7	10,0	70,0
Spedition-Bahnsammelgut	1,1	162,0	6,8
-Kraftwagensammelgut	11,6	205,0	56,6
Güterfernverkehr-Stückgutverk.	3,0	950,0	3,2
-Kleinladungsverk.	5,0	6170,0	0,81
Werkfernverkehr-Stückgut	11,5	1600,0	0,72
-Kleinladungsverkehr	23,6	4260,0	5,5
Güternahverkehr-Stückgut	25,5	-	-
Werknahverkehr	96,6	1010,0	95,6
Huckepackverkehr	2,0	-	0,12

(Quelle Dornier System 1975,S.2-29)

aus "Rationalisierungs- und Mengendegressionsgründen" angestrebte höhere Durchsatz von Anfang an vorhanden wäre.

Bei der heutigen Struktur des Verkehrsgewerbes darf eine generelle Kooperationsbereitschaft der Unternehmen nicht vorausgesetzt werden.

Bei der schon erwähnten Untersuchung von Dorsch Consult stellte sich heraus, daß nur eine geringe Bereitschaft besteht, sich an einem gemeinsamen Projekt GVZ zu beteiligen (Dorsch Consult 1973, S.218).

Auch Puf kommt nach der Untersuchung von 90 Nahverkehrsunternehmern zu demselben Schluß und zur Meinung, daß "Expansion primär als Wachstum aus eigener Kraft" vollzogen werden muß. (Seidenfuß 1976, S. 82)

Die beiden vom Verfasser dieser Arbeit selbst befragten Unternehmen in München liegen bei etwa 200 Mp Tagesumschlag und beabsichtigen, diesen Durchsatz weiter zu erhöhen. Sie haben die Möglichkeit, durch 3-Schicht-Betrieb den Zuwachs auf etwa 300-350 Mp zu verkraften, dann aber stoßen sie an die Grenzen der bisherigen Baulichkeiten und Grundstücke. Über weiteren Zuwachs macht man sich bisher noch keine Gedanken; eine Verlagerung und Vergrößerung der Umschlagsanlage und die Anpassung und Automatisierung von Organisation und Verwaltung dürften beide nicht ohne Kapitalzufuhr von außen finanzieren können.

Die Bereitschaft zur Kooperation dürfte im Verkehrsgewerbe erst dann merklich steigen, wenn handfeste wirtschaftliche Gründe vorhanden sind, die einem Weiterarbeiten nach bisherigen Gewohnheiten entgegenstehen. Dies kann durch den Wettbewerbsdruck einzelner erfolgreich expandierender Unternehmen oder den Zwang zu Kosteneinsparungen eintreten.

Die Einsicht, durch Kooperation und Konzentration, den Verkehr und möglicherweise die Volkswirtschaft zu entlasten, wird den einzelnen Unternehmer nicht zu einem solchen Schritt bewegen.

2. Bisherige Forschungsansätze und -ergebnisse

In diesem Abschnitt sollen die bisherigen Arbeiten, die sich mit der Zentralisierung der Güterverteilung in Ballungsräumen befassen, kurz dargestellt werden, um einen Überblick über den Stand dieser "Idee" zu vermitteln.

2.1. Dornier System: Kosten-Nutzen-Analyse eines zentralen Güterverteilungssystems, dargestellt am Beispiel eines Ballungsraumes

Diese Studie sollte einerseits alle relevanten Einflußgrößen, die auf die Güterverteilung einwirken, untersuchen und andererseits all diejenigen "Wirkungsbereiche", die von einer Zentralisierung der Güterverteilung betroffen werden, erfassen.

Sie gliedert sich in 4 Teile:
Nach Einführung in die Gegebenheiten des Güterverkehrs in Ballungsräumen und Vorstellung des Vorschlags einer zentralisierten Güterverteilung werden im 2. Teil Ergebnisse von Istdatenaufnahmen im Großraum Stuttgart dargestellt. Diese Daten wurden hauptsächlich bei einer Verkehrserhebung im Jahre 1968, aus Befragungen von Betrieben des Verkehrsgewerbes und des Handels und Gesprächen mit Verbänden und Planungsbehörden gewonnen.

Das Untersuchungsgebiet umfasste die Stadt Stuttgart und die umliegenden Landkreise, insgesamt eine Fläche von ca. 4600 qkm.

Die wichtigsten Fakten, die untersucht wurden, waren:

- -Bestimmung der Anteile der verschiedenen Wirtschaftszweige am Güterverkehr (S. 16)
- -Verflechtung des Güterverkehrs der einzelnen Zonen des Ballungsraumes untereinander (S.18 ff)
- -Zeitliche Verteilung der verschiedenen Wirtschaftsverkehre über den Tagesverlauf (S.23 ff)
- -Eigenschaften und Auslastung der Fahrzeuge der verschiedenen Verkehrsträger

-Transportmengen
-Organisationsweise der Fahrten (Tourenbildung) (S.40 ff)
-Struktur der Güter (Güterarten) (S.48 ff)
-Einfluß der Flächennutzung auf den Güterverkehr (S.59 ff)

Diese Aufnahmen ergaben, daß vom gesamten Güteraufkommen (im Nahverkehr) des Großraums Stuttgart, nach Gewicht gerechnet, 8,8% geeignet wären, zentralisiert umgeschlagen zu werden. (S.49 ff)

Einzelne Bestandteile dieser Untersuchungen finden auch in der vorliegenden Arbeit als Eingabedaten für das Simulationsmodell Eingang. Sie werden bei den betreffenden Stellen zitiert.

Im Teil 3 der Untersuchung wird ein System der zentralen Güterverteilung konzipiert, das davon ausgeht, daß eine "räumliche und zeitliche Konsolidierung" (S.65 ff) der Gütertransporte im Ballungsraum durch

- eine "zentrale Informationsbasis",
- eine "zentrale Einsatzplanung" und
- einen "zentralen Umschlag"

ermöglicht wird.

Diese Formulierung ist als Ursprung der Konzeption der GVZ, wie sie in Abschnitt 1.3. dieser Arbeit vorgestellt wurde, anzusehen.

Die einzelnen Komponenten des Systems, die konzipiert wurden, sind:

- Sammel- und Verteilbereich (Nahfuhrpark)
- Umschlagsbereich
- Lagerbereich
- Servicebereich
- Zentrale Verwaltung
- Zentrale Dienste

(S.70 ff)

Untersucht wurden auch Fragen des Standorts der Umschlagsanlage, der "Attraktivität" des Systems für potentielle

Kunden und der erreichbaren Marktanteile.

Bei der Dimensionierung von Umschlagsanlage und Fuhrpark für die Kosten-Nutzen-Analyse ging man von einem Marktanteil von 60% im Jahre 1980 aus, entsprechend 12 650 Transporten oder 1 265 Mp Umschlag pro Tag (S.103).

Für eine Anlage, die diese Leistung zu erbringen in der Lage ist, errechnete Dornier System Betriebskosten von 20,3 Mio DM pro Jahr. Für drei Anlagen, die sich die sich die angegebenen Mengen aufteilen, betragen sie 23,9 Mio DM pro Jahr, inclusive des anfallenden Transfers zwischen den Anlagen. (Berechnungen aus 1972)

Teil 4 der Studie stellt die direkten Auswirkungen der Zentralisierung auf

- die Transportabwicklung im Fern- und Nahverkehr
- den Sammel- und Verteilverkehr
- das Verkehrsgewerbe
- die übrigen Gewerbebetriebe
- den Verkehr (ruhend und fließend) und
- den Umschlagsbereich und seine Kosten

dar. (S.119 - 147)

Weiterhin werden die indirekten Auswirkungen auf

- die Gesamtwirtschaft
- die Infrastruktur des Stadtgebietes
- die Strukturveränderungen des Verkehrsgewerbes
- die Konzeption der Stadtentwicklung und
- die Umweltbelastungen

aufgezeigt.

Diese Auswirkungen wurden - soweit möglich - "monetär" oder wenigstens qualitativ - positiv, neutral, negativ - bewertet und zu einer Kosten-Nutzen-Analyse gegenübergestellt. (S.169 ff)

Als Barwert der Nutzen ergaben sich für 33 Jahre 192,7 Mio DM, dem ein Wert der Kosten von 60,0 Mio DM gegenübersteht.

Dornier System kam auf Grund dieses Ergebnisses zu dem Schluß, - nicht bewertbare negative Wirkungen wurden als vernachlässigbar angesehen - daß für das System der zentralisierten Güterverteilung gute Chancen bestünden und weitere Untersuchungen in dieser Richtung notwendig seien.

2.2. Dorsch Consult: Überregionales Großumschlagszentrum im Raum München

Im Februar 1973 legte die Dorsch Consult Ingenieurgesellschaft mbH, München, einen Bericht vor, der sich mit einem überregionalen Großumschlagzentrum im Raum München befaßte. Auftraggeber war das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr.

Untersucht wurden folgende Fragestellungen:

- Erfordert das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum in der Region München die Errichtung eines Großumschlagszentrums?
- Wo sollte es seinen Standort haben?
- Sind vom zentralisierten oder dezentralisierten Umschlag größere Vorteile zu erwarten?
- Wird sich die Konzentration des Umschlags aus einzelwirtschaftlichen Interessen oder als Folge des Ausbaus der Verkehrsinfrastruktur von selbst vollziehen?
- Wie ist ein überregionales Großumschlagszentrum aus betriebswirtschaftlicher, volkswirtschaftlicher, verkehrstechnischer Sicht zu beurteilen? Welche Aspekte ergeben sich für die Stadt- und Landentwicklung? (vergl. Dorsch 1973, S.1)

Die aufgeworfenen Fragestellungen wurden nicht durch quantitative Ergebnisse beantwortet, vielmehr handelte es sich um eine erste Voruntersuchung, die die verschiedenen Aspekte eines Umschlagszentrums umfassend beschreiben und analysieren sollte.

Der Untersuchungsraum umfasste

- die kreisfreien Städte München und Freising
- die Landkreise Dachau, Ebersberg, Erding, Freising, Fürstenfeldbruck, Starnberg, Wolfratshausen und München
- einige Gemeinden aus angrenzenden Landkreisen,

insgesamt eine Fläche von 4 869,75 qkm. (S.8)

Die Verfasser analysierten die Güterströme und die damaligen Umschlagsplätze im oben umschriebenen Raum, prognostizierten die Güterströme nach Menge, Art, Relation und Verkehrsträgeranteilen auf einen Zeitraum von 20 Jahren und untersuchten die verschiedenen Verkehre auf ihre Eignung für einen zentralen Umschlag, um Anhaltspunkte für die Untersuchung verschiedener Alternativen zu erhalten.

Diese Datenzusammenstellung und -prognose nimmt im Bericht einen sehr breiten Raum ein, da die Daten teilweise durch eigene Umfragen und Zählungen erhoben werden mußten. In einzelnen Fällen mußte man sich dabei auch auf Schätzungen von Fachleuten verlassen.

Bei den Untersuchungen über die Güterströme zeigte sich, daß man sich von der Art der Güter her, die für einen zentralen Umschlag geeignet schienen, auf Stückgüter beschränken konnte.

Man kam nach Untersuchung verschiedener Möglichkeiten des Umschlags zu dem Schluß, daß ein "Umschlagszentrum als gemeinsam betriebene Stückgut-Umschlagsanlage" sinnvoll sei. Dieses Zentrum sollte nach folgenden Annahmen arbeiten:

- Die Umschlagsanlage wird von mehreren Speditionen kooperativ betrieben
- Die Spediteure agieren am Markt selbständig und eigenverantwortlich
- Die Disposition bleibt jedem Spediteur selbst überlassen
- Enge Zusammenarbeit im Bereich der Verwaltung und Abrechnung
- Disposition der Hauptläufe

(S.226 ff)

Eine solche Anlage würde nach Meinung der Verfasser folgende Auswirkung haben:

- die Konzentration der arbeitsaufwendigen Manipulationen auf eine zentrale Anlage bringt eine Rationalisierungsgrundlage.
- die Belastung des städtischen Straßennetzes durch "Hauptläufe" wird durch günstigen Standort verringert
- eine entsprechende Geländegröße fördert die Ansiedlung weiterer umschlagsintensiver Lagerbetriebe.
- die raumordnerischen Vorteile der Konzentration gleichartiger Betriebe können gewahrt bleiben.
- die Arbeitsteilung Schiene-Straße könnte ausgebaut werden.
- die gewachsenen Funktionen an der Dienstleistung "Stückgutverkehr" einschließlich der Speditionen können gewahrt bleiben, da die Betriebe die Anlage "kooperativ" betreiben sollen. Der Wettbewerb bleibt erhalten.
- das Konzept scheint durchsetzbar zu sein, ohne "Anstöße" durch die Öffentliche Hand.
- die Beteiligung an der Anlage bleibt allen Verkehrspartnern freigestellt.

(S.233 ff)

Das Gewicht der Stückgüter, die 1970 im Untersuchungsraum umgeschlagen wurde, betrug ca. 1,5 Mio t (S.221)

Dorsch Consult rechnet mit einem Prozentanteil zwischen 35 und 40 an diesem Gutaufkommen, das von einem Umschlagszentrum übernommen werden kann. Der Rest verbleibt bei den bisherigen Verkehrstragern.

Die Anlage würde somit etwa 600 000 t pro Jahr umschlagen, was 2 500 t pro Tag entsprache (S.235)

Nach überschlagiger Berechnung von Dorsch Consult müßte das benötigte Areal etwa 200 000 qm groß sein, wovon 103 000 qm auf die eigentliche Umschlagsanlage mit Nebeneinrichtungen entfielen, der Rest als Reserve für weitere Betriebe gelten würde.

Das von Dorsch Consult vorgeschlagene Konzept der "gemeinsamen Umschlagsanlage" unterscheidet sich von der Idee der Güterverteilzentrale vor allem dadurch, daß die einzelnen Kooperationsteilnehmer selbständig am Markt operieren und die Disposition des Nahfuhrparks nicht zentral vorgenommen wird. Gerade aber die zentrale Leitung und der zentrale Einsatz dieses Fuhrparks bringen für den Stadtbereich die benötigten Effekte, um kostengünstiger und mit geringerem Verkehrsaufwand Güter verteilen und sammeln zu können.

2.3. Dornier System: Gestaltung von Güterverteilzentralen

Diese vom Bundesverband des Deutschen Güterfernverkehrs (BDF) e.V. und Dornier System GmbH durchgeführte Studie wurde 1975 im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie fertiggestellt und enthält als Fortführung der Untersuchungen aus Stuttgart (siehe Abschnitt 2.1.) erstmals konkrete Vorschläge, wie bei der Planung von Güterverteilzentralen vorgegangen werden sollte und wie diese Zentralen - in verschiedenen Größenordnungen - gestaltet werden können, sowohl von der technischen Ausrüstung und der verwendeten Systeme her, als auch in bezug auf den organisatorischen Ablauf. Diese Planungsvorschläge beziehen sich auf den Bereich der Umschlagsanlage mit den zugehörigen Nebeneinrichtungen; nur in sehr geringem Maße wird der Fuhrpark angesprochen.

Ausgehend von einer Bedarfsanalyse, werden zunächst die Grundlagen für die Planung von GVZ ermittelt und ein Katalog von Entscheidungskriterien und Anforderungen für die Annahme des Systems GVZ erstellt. (S. 2-1.ff)

Als Träger für eine GVZ wird eine Kooperation zwischen Güter-Verkehrsunternehmen, Versendern und Empfängern und sonstigen Unternehmen und Körperschaften vorgeschlagen und die Wahl einer geeigneten Rechtsform diskutiert. (S.3 - 1 ff)

Den größten Teil der Studie nimmt die "funktionale Gestaltung" der GVZ ein.

Ausgehend von den verschiedenen Tätigkeiten einer GVZ, werden Layout-Vorschläge für die einzelnen Funktionsbereiche der verschiedenen GVZ-Größenklassen erarbeitet.

Als Funktionsbereiche werden

- Umschlagsbereich
- Lagerbereich
- Fuhrparkbereich mit Autohof- und Servicefunktionen
- Allgemeine Dienstleistungen

aufgeführt und alternative Vorschläge für die räumliche Anordnung dieser Bereiche auf dem GVZ-Gelände gemacht. (S.6 - 10ff), wobei die verschiedensten Gesichtspunkte vom Gleisanschluß bis zur Verkehrsanbindung ans Straßennetz berücksichtigt wurden.

Als maßgebende Kriterien für die Auslegung des Umschlagsbereiches wurden erkannt:

- Umschlagsmenge pro Tag
- Sendungsstruktur
- Fahrzeugaufkommen
- zeitliche Verteilung der anliefernden und abholenden Fahrzeuge über den Tag
- durchschnittliche Umschlagslagerzeit

(S.6 - 26)

Für diese Einflußgrößen wurden Kennwerte aus Befragungen und Untersuchungen gebildet und zur Modellbildung der verschiedenen GVZ-Größenklassen verwendet. Eine Zusammenstellung zeigt Tabelle 7. (S.6 - 27 ff)

Ausgehend von diesen Kennwerten wurden verschiedene Umschlagstechniken, -systeme und -geräte auf ihre Praktikabilität und Kosten hin untersucht.

Tabelle 8 zeigt die vorgeschlagenen Alternativen für den Umschlag. (S.6 - 89)

	GVZ 1	GVZ 2	GVZ 3	GVZ 4	GVZ 5
1. Umschlagsmenge/Tag [t/Tag]	500	1000	2000	5000	10000
2. Sendungsstruktur					
2.1 Durchschnittl. Gewicht pro Sendung [kg]					
2.11 Kolli	70	70	70	70	70
2.12 Stückgut	250	250	250	250	250
2.2 Gewichtsstreuung [kg]					
2.21 Kolli	0....50	0....50	0....50	0....50	0....50
2.22 Stückgut	50....2000	50....2000	50....2000	50....2000	50....2000
2.3 Ein-/ausgehende Sendung/Tag	2000 - 7000	4000 - 14000	8000 - 28000	20000 - 70000	40000 - 140000
2.4 Durchschnittl. Packstücke/ Sendung	2 - 4	2 - 4	2 - 4	2 - 4	2 - 4
2.5 Palettierfähige Güter	70 - 90 %	70 - 90 %	70 - 90 %	70 - 90 %	70 - 90 %
2.51 palettiert angeliefert	20 - 30 %	20 - 30 %	20 - 30 %	20 - 30 %	20 - 30 %
2.52 unpalettiert angeliefert	50 - 60 %	50 - 60 %	50 - 60 %	50 - 60 %	50 - 60 %
2.6 nicht palettierfähige Güter	10 - 30 %	10 - 30 %	10 - 30 %	10 - 30 %	10 - 30 %
3. Fahrzeugaufkommen					
3.1 Zugrundegelegte Annahmen					
3.11 Im Nahverkehr verbleibende Umschlagsanteile	10% (bezogen auf die gesamte Umschlagsmenge/Tag)				
3.12 ϕ Auslastung Fern-LKW	10 t bzw.15 t	10 t bzw.15 t	10 t bzw.15 t	10 t bzw.15 t	10 t bzw.15 t
3.13 ϕ Auslastung Waggon	10 t bzw.15 t	10 t bzw.15 t	10 t bzw.15 t	10 t bzw.15 t	10 t bzw.15 t
3.14 ϕ Auslastung Rollfahrzeuge	4 t	4 t	4 t	4 t	4 t
3.15 Anteil Bahn am Fernverkehr	20 - 50 %	20 - 50 %	20 - 50 %	20 - 50 %	20 - 50 %
3.16 Anteil Straße am Fernverkehr	80 - 50 %	80 - 50 %	80 - 50 %	80 - 50 %	80 - 50 %
3.2 Abzufertigende LKW und Waggon pro Tag (Fernverkehr)	LKW Waggon	LKW Waggon	LKW Waggon	LKW Waggon	LKW Waggon
3.21 Angenom.Auslastung 10 t Anteil Straße 80 % Schiene 20 %	**32 8**	**64 16**	**128 32**	**320 80**	**640 160**
Anteil Straße 50 % Schiene 50 %	20 20	40 40	80 80	200 200	400 400
3.22 Angenom.Auslastung 15 t Anteil Straße 80 % Schiene 20 %	21 5	43 11	85 21	210 50	430 110
Anteil Straße 50 % Schiene 50 %	13 13	27 27	53 53	130 130	270 270
3.3 Abzufertigende Rollfahrzeuge/ Tag	**125**	**250**	**500**	**1250**	**2500**
4. Verteilung der anliefernden und abholenden Fahrzeuge über den Tag					
4.1 Ausgehender Verkehr	Nahverkehr 60 % zwischen 16.00 und 19.30 Uhr Fernverkehr 60 % zwischen 16.00 und 22.00 Uhr				
4.2 Eingehender Verkehr	Nahverkehr 80 % zwischen 6.00 und 10.00 Uhr Nahverkehr 20 % zwischen 10.00 und 14.00 Uhr Fernverkehr 80 % zwischen 6.00 und 10.00 Uhr				
5. Durchschnittliche Umschlagslagerzeit [h]	12	11	10	9	8
6. Arbeitstage pro Jahr	240	240	240	240	240

Tabelle 7: Daten für die Modellbildung von Güterverteilzentralen (entnommen aus: Dornier System 1975, S.6 - 23)

Tab.8: Umschlagssysteme für die GVZ-Modelle

GVZ-Typ	Mögl.Umschlagssysteme (Hilfsmittel)	Vorgeschlagene Umschlags-systeme
GVZ 1 (500 t/Tag)	•Überwiegend manueller Umschlag (Handhubwagen, Stechkarre, vereinzelt Stapler) •Einsatz von Flurfördermittel (Gabelstapler,Schlepper,Hubwagen) •Unterflurfordersystem	•Einsatz von Flurfördermittel
GVZ 2 (1000 t/Tag)	•Einsatz von Flurfördermittel •Unterflurfördersystem •Induktiv gesteuertes TS	•Einsatz von Flurfördermittel •Einsatz eines Unterflurfördersystems
GVZ 3 (2000 t/Tag)	•Unterflurfördersystem •Induktiv gesteuertes TS •Trennung von Kolli- und Palettenumschlag ⇒ Einsatz einer Paketverteilanlage u. Einsatz von Flurfördermittel	•Einsatz eines Unterflurfördersystems •Einsatz eines induktiv gesteuerten TS
GVZ 4 (5000 t/Tag) und GVZ 5 (10000t/Tag)	•Errichten mehrerer Umschlagshallen; dabei Einsatz der oben beschriebenen Systeme •Trennung von Kolli- und Palettenumschlag ⇒ Kolliumschlag über Paketverteilanlage (z.B. Stahlband-, Klippgliederband-, Rollenbahnen-System) Palettenumschlag über autom. Hochregallager in Verbindung mit Rollenbahnen-System	•Entscheidung muß detaillierter Analyse im konkreten Planungsfall vorbehalten bleiben; •örtl. Standortdifferenzierung, so daß für einen Verdichtungsraum mehrere GVZ in Betracht kommen; •additive Zusammensetzung aus obigen Umschlagssysemen

(entnommen aus: Dornier System 1975, S.6 - 89)

(TS = Transportsystem)

Tabelle 9 zeigt die Investitions- und Betriebskosten der Alternativen.

Tab.9: Investitions- und Betriebskosten verschiedener Umschlagssysteme pro Jahr (Basis 1974/75, Quelle: Dornier System 1975, S.6 - 91ff) (incl. Verw. und EDV)

GVZ Klasse	Umschlagsystem	Investitionskosten (DM)	Betriebskosten (DM)
1/500	Einsatz von Flurfördermitteln	4 368 000.-	4 631 000.-
2/1000	Einsatz von Flurfördermitteln	7 787 100.-	8 734 800.-
	Einsatz von Unterflurfördersystem	9 618 500.-	8 641 500.-
3/2000	Einsatz von Unterflurfördersystem	16 685 000.-	15 179 400.-
	Einsatz von induktiv gesteuerten Schleppern	15 168 000.-	14 744 000.-

Die Klassen 4 und 5 (5000 und 10 000 Mp Umschlag) wurden kostenmäßig nicht bewertet, da die Planung solcher Größenordnungen noch mit zuviel Unsicherheit verbunden ist und ihre Wirtschaftlichkeit stark in Frage gestellt wurde.

Weitere Layout-Vorschläge betreffen den "Lager"- und den "Servicebereich". (S.6 - 103)

Die Organisation des Informations- und Belegwesens nimmt ein weiteres Kapitel der Studie ein. Es wird davon ausgegangen, daß jede GVZ wegen des hohen Sendungsaufkommens mit einer EDV-Anlage arbeitet, an die folgende Stellen direkt angeschlossen werden (S.7 - 1):

- Abfertigung Gütereingang
- Abfertigung Güterausgang
- Entladerampen
- Laderampen
- Sortierplätze
- Sendungsdisposition
- Fahrzeugdisposition
- Fakturierung
- Buchhaltung
- GVZ-Management

Für das Zwischenlagern der Sendungen werden Stellplätze vorgeschlagen, die nach Leitgebieten für (S.7 - 16ff)

- den Nah-Verkehr
- den Fern- Verkehr und
- das Ausland

beschickt werden.

Die Disposition von Nah- und Fernverkehrfahrzeugen erfolgt zentral und soll zwar EDV-gestützt, aber mit Eingriffsmöglichkeiten des Disponenten ablaufen. Dafür wurden Programmsysteme entworfen, die auf den Sendungseingangsdaten aufbauen und als Nebeneffekt auch die notwendigen Statistiken und Abrechnungen erledigen.

Weitere Kapitel der Studie befassen sich mit

- GVZ-fähigen Aktivitäten (Kap. 9)
- Beurteilungsmethodik von Alternativen (Kap.10)
- Standortwahl von GVZ (Kap.11)
- Raumplanerischen Aspekten einer GVZ (Kap.12)
- Projektplanung beim Bau einer GVZ (Kap.13)

Insgesamt gesehen, gibt die Studie sehr wertvolle Hinweise für die Planung von Güterverteilzentralen, insbesondere, da die derzeit denkbaren alternativen Umschlagssysteme eingehend untersucht und auf ihre Einsatzmöglichkeit hin beurteilt wurden. Erstmals wurde auch der Bereich der Organisation vollständig durchdacht und dargestellt und Vorschläge für einen rationellen und sicheren Ablauf der Disposition und Abrechnung ausgearbeitet.

Trotz dieser ausgefeilten Detailarbeit wird der Planer einer konkreten Anlage nicht umhin kommen, jedes Detail nochmals kritisch auf seine Praktikabilität zu überprüfen, da in dieser Studie von Eingangsvoraussetzungen ausgegangen wurde, die vom konkreten Fall extrem weit abweichen können. Dies schmälert allerdings den Wert der Studie keinesfalls.

Die Verfasser haben auf diese Problematik auch selbst hingewiesen und warnen vor einer unkritischen Übernahme ihrer Vorschläge.

2.4. Doll: Technische Konzeptionsmöglichkeiten und deren kostenmäßige Bewertung bei der Gestaltung von Güterverteilzentralen.

Diese Untersuchung wurde parallel zu dem Forschungsauftrag von Dornier System als Diplomarbeit durchgeführt.

Ausgehend von der Studie in Stuttgart (Dornier System 1972, vergl. Abschnitt 2.1.) und einer eigenen Istaufnahme zur Gutstromstruktur bei einer Spedition (S.41 - 55), wurden die Anforderungen an die verschiedenen Größenklassen von Güterverteilzentralen formuliert. (S.56 - 63)

Die Planung des Layouts einer GVZ zerfiel in zwei große Teilbereiche: Fuhrpark und Umschlagsanlage.

Beim Fuhrpark wurde von Fahrzeugen mit 4,3 Mp Nutzlast ausgegangen, von denen der Teil mit Wechselpritschen ausgestattet werden sollte, der im Kerngebiet eingesetzt wurde. Durch die Wechselpritsche sollte ein schnelleres Beladen des Fahrzeugs erreicht werden, um den zweimaligen Umlauf dieser Fahrzeuge pro Tag zu ermöglichen. (S.79 - 82)

Aufgrund dieser Ausgangsdaten wurde die Zahl der Fahrzeuge pro GVZ-Klasse ausgehend von GVZ 500 (S.83) hochgerechnet

	Anzahl der Fahrzeuge
GVZ 500	38
GVZ 1000	176
GVZ 2000	352
GVZ 5000	880
GVZ10000	1760

und jeweils Investitions- und Betriebskosten des Fuhrparks berechnet. (S.84 - 88)

Bei der Berechnung der Einsparungen der GVZ im Bereich des Fuhrparks gegenüber seitherigen Systemen wurde von der Annahme ausgegangen, daß sich die Auslastung der Fahrzeuge von 50 % auf 75 % erhöhen würde.

Damit ergaben sich bei der GVZ 500 Ersparnisse von ca. 3 Mio DM an Betriebskosten pro Jahr gegenüber dem seitherigen System, bei der GVZ 10 000 ca. 61 Mio DM. (S.90 - 93)

Grundlage der Layout-Planung der Umschlagsanlage waren Besichtigungen bei großen Versendern (Quelle, Neckermann, Bahlsen), Gespräche mit Herstellern von Lagereinrichtungen und Umschlagshilfsmitteln und Studien der einschlägigen Literatur.

Die Tätigkeitskette in einer Umschlagsanlage wurde lückenlos zusammengestellt und die jeweils günstigsten Hilfsmittel ermittelt. Die einzelnen Tätigkeiten wurden mit Zeitrichtwerden (der Bundesbahn) belegt. So konnte die benötigte Zahl von Rampen (S.108 - 112), Hilfsmitteln und Arbeitskräften für die einzelnen Teilbereiche ermittelt werden.

Die benötigten Flächen für die Umschlagsanlage wurden aus der Ladefläche der ein- und ausgehenden Fahrzeuge und der durchschnittlichen Lagerzeit der Güter mit Zuschlägen für Wege etc. errechnet. (S.135 - 140)

Schließlich wurden für die Ausrüstung der Umschlagsanlage drei Alternativen entwickelt:

- Konventioneller Umschlag mit bisherigen Hilfsmitteln (Stechkarren, Gabelstapler, Wagen)
- Konventioneller Umschlag für Sendungen über 40 kp Gewicht, zusätzliche Paketverteilanlage mit Stahlbandförderer zum Sortieren auf die Zwischenlagerplätze für Sendungen bis 40 kp
- Einsatz eines Hochregallagers als "Sortiermaschine für nahezu alle Sendungen (außer besonders sperrigen)

Für alle 3 Alternativen wurden die Investitionskosten, Personalbedarf und Betriebskosten pro GVZ-Klasse ermittelt, wobei der Verfasser bei der Planung der Alternative 3 von sehr vagen Werten ausgehen mußte, da Hochregallager für eine durchschnittliche Lagerzeit von wenigen Stunden noch nicht kon-

zipiert waren und von den Herstellern solcher Läger nicht mehr als Richtwerte zu erhalten waren.

Aus heutiger Sicht kann angenommen werden, daß die in der Diplomarbeit angenommenen Werte für die Investitionen stark überhöht sind.

Die errechneten Investitions- und Betriebskosten pro Jahr der verschiedenen GVZ-Klassen, wie sie ermittelt wurden, sind im folgenden aufgeführt:

	Alternative I		Alternative II		Alternative III	
	I-kosten	B-kosten	I-kosten	B-kosten	I-kosten	B-kosten
GVZ 500	10 073	4 660	12 981	5 255	11 123	5 426
GVZ 1000	19 250	9 503	21 207	9 861	21 314	10 325
GVZ 2000	34 049	19 124	44 726	20 417	42 132	21 544
GVZ 5000	84 085	54 308	103 691	54 253	116 229	58 143
GVZ 10000	190 358	133 073	230 097	126 423	293 193	134 850

I-kosten = Investitionskosten
B-kosten = Betriebskosten
(Angaben in TDM, Basis 1974,1975) (S.255)

Als "ideale" Größenordnung für GVZ wurde 1000 - 2000 Mp Tagesumschlag ermittelt. Darüber stiegen die Betriebskosten jeweils überproportional an. Der Grund dafür liegt in den Weglängen, die beim Sortieren, Transportieren und Bereitstellen der Sendungen in der Halle zurückgelegt werden müssen. Die größere Hallenfläche macht sich oberhalb 2000 Mp stark bemerkbar.

Allerdings wurde bei der Berechnung der Hallenfläche großzügig vorgegangen, was sich in einem Staufaktor von 2.0 (Dornier System verwendet 1,5) und einer starken Untergliederung der Halle durch Verkehrswege ausdrückt.

Dornier System liegt in der Größe der angenommenen Hallenflächen wesentlich unter der hier verwendeten. (vergl. Dornier System 1975, S.6 - 35)

Beide Arbeiten kommen jedoch zu dem Schluß, daß Umschlagsanlagen über 2000 Mp zu kostenaufwendig sind, um Vorteile gegenüber mehreren kleinen Anlagen bieten zu können.

2.5. Schwerdtfeger: Städtischer Lieferverkehr

Diese Arbeit beschäftigt sich zwar nicht mit "Güterverteilzentralen", es werden in ihr jedoch eine Fülle von Daten und Zusammenhängen des innerstädtischen Lieferverkehrs dargestellt, die auch für die Verteil- und Sammelverkehre von Güterverteilzentralen von Bedeutung sind.

Aus dieser Arbeit läßt sich z.B. ableiten, welche Betriebe und Branchen für eine GVZ besonders interessante Kunden darstellen und welche Anforderungen diese an das System stellen würden.

Daher sollen die wichtigsten Ergebnisse hier angesprochen werden.

Die Untersuchungen wurden in Braunschweig und Karlsruhe durchgeführt. 614 Betriebe des Einzelhandels und des Dienstleistungsgewerbes wurden im Bereich ihrer Lieferverkehre untersucht. Dabei wurden Interviews mit den Geschäftsführern durchgeführt, die zu Erkenntnissen über die Strukturdaten (Beschäftigte, Geschäftsfläche etc.) und die An- und Auslieferverkehre der Betriebe führen sollten. Zusätzlich wurde der Lieferverkehr der Betriebe eine Woche lang lückenlos erfaßt und Kurzinterviews mit den Fahrern durchgeführt.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser umfangreichen Arbeit waren:

- Nur wenige Branchen heben sich im Lieferverkehrsaufkommen vom Durchschnitt ab. (Nahrungsmittelhändler haben die höchsten, Textilbranchen die niedrigsten Verkehrsaufkommen).
- Warenhäuser sind die absolut höchsten Erzeuger von Lieferverkehren
- Der Wochentag hat auf den Lieferverkehr praktisch keinen Einfluß.

- Die Liefervorgänge über den Tagesverlauf weisen eine breite Spitze zwischen 8 und 10 Uhr auf. Nach 18 Uhr finden so gut wie keine Liefervorgänge mehr statt.
- Die Dauer der Standzeiten der Lieferfahrzeuge liegt bei 50 % bei weniger als 11 Minuten, der Mittelwert bei 20 Minuten.

3. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Im Gegensatz zu den bisherigen in Abschnitt 2 besprochenen Untersuchungen soll die vorliegende Arbeit nicht der Erarbeitung von weiteren grundsätzlichen Aspekten oder von Ist-Daten des städtischen Lieferverkehrs dienen, sondern sie nimmt das System der Güterverteilzentrale als gegeben hin und untersucht das Verhalten dieses Systems, wenn sich einzelne oder mehrere Einflußgrößen verändern.

Wie bereits erwähnt, wird dabei die Umschlagsanlage selbst nicht mehr untersucht. Nach den Untersuchungen von Dornier System kann davon ausgegangen werden, daß sie als funktionierendes "Subsystem"betrachtet werden kann. (vergl. Abschn. 2.2.)

Vielmehr liegt der Schwerpunkt eindeutig im Bereich des Fuhrparks. Untersucht werden die Auswirkungen der zentralisierten Güterverteilung mit ihren wesentlich größeren einheitlich disponierten Gutmengen auf das Verkehrsaufkommen und die wirtschaftlichen Effekte bei der Güterverteilung mit dem Fuhrpark.

Außerdem wird versucht, die wesentlichen Einflußfaktoren zu ermitteln, die die Leistung eines gegebenen Fuhrparks bestimmen.

In den folgenden vier Abschnitten werden die einzelnen Elemente des Systems entsprechend den Klassifikationen der Systemforschung aufgeführt.(Hanssmann 1978, S.23)

Einen groben Überblick gibt auch Bild 3, wobei die vier äußeren Rechtecke die Restriktionen der Umwelt beinhalten, die nächste Stufe nach innen die Anforderungen, die Kunden und Verkehrsträger an den Stückgutverkehr stellen. Die Umwelteinflüsse und die Anforderungen beeinflussen die Größe und die Eigenschaften des Fuhrparks, umgekehrt sind die Leistung (gemessen in Durchsatzmenge und Durchlaufzeit), Flexibilität und Kosten von der Größe und den Eigenschaften des Fuhrparks abhängig.

3.1. Die Entscheidungsalternativen

Die Gutmenge, die diese Güterverteilzentrale(-n) jeweils umschlagen, sammeln und verteilen sollen (vergl. Größenklassifikation S.12), ist im Sinne der Systemforschung als Entscheidungsalternative zu betrachten (Hanssmann 78, S.23). Von der Größe der einzelnen Zentrale(n) eines Ballungsraumes, dessen Gutaufkommen als konstant über einen mittelfristigen Zeitraum angesehen werden kann, hängt deren Anzahl im Ballungsraum ab. Geht man von gleichgroßen Zentralen aus, so ist die Zahl der Zentralen eines Ballungsraumes synonym zur Größe der Einzelzentralen verwendbar.

Folgende Größenordnungen von Güterverteilzentralen werden untersucht:

	Tagesumschlag Mp	Zahl der Zentralen	Dornier Klassifikation
GVZ 10	10	1000	-
GVZ 20	20	500	-
GVZ 50	50	200	-
GVZ 100	100	100	-
GVZ 200	200	50	-
GVZ 500	500	20	GVZ 1
GVZ 1000	1000	10	GVZ 2
GVZ 2000	2000	5	GVZ 3
GVZ 5000	5000	2	GVZ 4
GVZ 10 000	10 000	1	GVZ 5

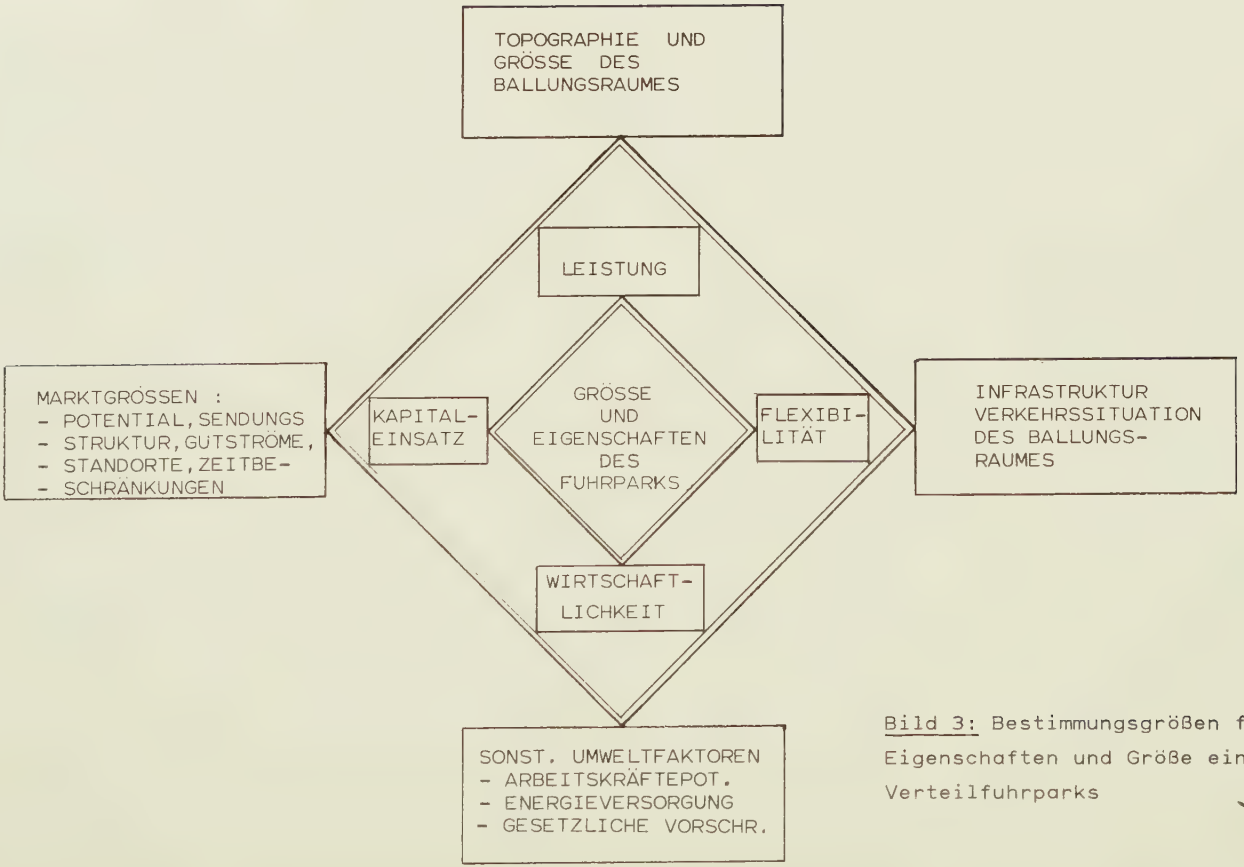


Bild 3: Bestimmungsgrößen für Eigenschaften und Größe eines Verteilfuhrparks

Bei Berechnung der Zahl der Zentralen im Ballungsraum wird von 10 000 Mp GVZ-fähigen Güteraufkommen pro Tag ausgegangen, was nach Schätzungen von Dornier System den Räumen Hamburg oder München entspräche.

Die Alternativen GVZ 10 und 20 sind dabei lediglich der Vollständigkeit halber aufgenommen worden, um herauszufinden, wie sich eine solch extreme Zersplitterung des Güterverkehrs auswirken würde. Sinnvoll und mit entsprechender Effektivität zu betreiben sind erst Größenordnungen ab 50 bis 100 Mp Tagesumschlag.

Dabei kann jedoch in den Klassen unter GVZ 500 nicht von Güterverteilzentralen gesprochen werden, da sie keine genügende Basis bilden, um die in Abschnitt 1.3. aufgeführten Nebenfunktionen zu übernehmen, die mit dem Begriff "Güterverteilzentrale" ebenfalls umrissen sind. Vielmehr handelt es sich dabei um konventionelle Umschlagsanlagen bzw. Speditionsbetriebe.

Dornier System hat von vorneherein bei der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit auf die Klassen GVZ 5000 und GVZ 10 000 verzichtet. Sie erschienen für deutsche Verhältnisse nicht realisierbar, da sie "nicht nur die Infrastruktur überfordern", sondern auch zu "unbeweglich" seien. (Dornier System 1975, S.6 - 89)

Trotz dieser Einschränkungen wurden hier auch diese beiden Alternativen untersucht, um die Auswirkungen einer totalen Konzentration des Stückgutverkehrs ebenfalls darzustellen.

Das Ziel dieser Arbeit ist, diejenigen Alternativen auszuwählen, die den Stückgutverkehr am effektivsten bewältigen können. Dabei werden bei der Ermittlung der Effektivität des Umschlagsbereichs frühere Ergebnisse (Dornier System 1975 und Doll 1975) herangezogen, für den Fuhrparkbereich die Ergebnisse der für diese Arbeit durchgeführten Simulationsrechnungen.

3.2. Die Entscheidungskriterien

Als "Effektivitätsmaß" oder "Entscheidungskriterium" (vergl. Hanssmann 1978, S.23) für die "Güte" verschiedener Alternativen und Varianten werden dabei folgende Größen herangezogen:

- Auslastung der Fahrzeuge
- Auslastung des Fuhrparks (≙Umlauffaktor)
- Fahrstrecke pro verteiltes Mp Güter
- Fahrzeit pro verteilte Mp Güter
- Fahrstrecke pro Sendung
- Durchlaufzeit der Sendungen
- Verkehrsaufkommen, das durch die GVZ verursacht wird.
- Elastizität der Alternativen in bezug auf Änderungen des Durchsatzes und der Strukturen

Teilweise sind diese Kriterien gegenläufig. Zum Beispiel hat ein knapp bemessener Fuhrpark eine gute Auslastung der Fahrzeuge und niedrige Investitionskosten zur Folge, ist aber sehr unelastisch schon bei geringer Erhöhung der Anforderungen und verlängert damit die Durchlaufzeit der Sendungen durch das System.

Bei derartigen Entscheidungskonflikten werden bei der Auswahl von Alternativen für einen Teil der Entscheidungskriterien Extremwerte formuliert, die nicht überschritten werden dürfen. In diesem "Rahmen" wird dann die Auswahl nach den übrigen Kriterien getroffen.

Die o.g. Kennzahlen schlagen sich in den Betriebskosten einer GVZ direkt nieder. Davon ausgenommen sind lediglich

- die Durchlaufzeit der Sendungen,
- das Verkehrsaufkommen und
- die Elastizität des Systems.

Die Betriebskosten des Fuhrparks als Maß der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen GVZ-Alternativen wurden in Abschnitt 6.2. ermittelt und (teilweise) mit den Betriebskosten des Umschlagsbereiches zusammen dargestellt.

Letztlich werden die Betriebskosten als Effektivitätsmaß für die verschiedenen Alternativen herangezogen, unter Berücksichtigung von Mindestanforderungen, die in Bezug auf die Durchlaufzeit, Elastizität und Verkehrsaufkommen erfüllt werden müssen.

3.2.1. Definition der Entscheidungskriterien

$$\text{Auslastung der Fahrzeuge} = \frac{\text{Ladegewicht beim Ausgang}}{\text{Nutzlast der Verteilfahrzeuge}} \quad \left(\frac{kp}{kp} \times 100\%\right)$$

$$\text{Auslastung des Fuhrparks} = \frac{\text{Anzahl Verteilfahrzeugausgänge}}{\text{Anzahl Fahrzeuge x Simulationsdauer}} \times 100\left(\frac{\quad}{\quad}\right)$$

Fahrstrecke = Verteilstrecke = gefahrene Strecke zwischen Ausgang des Verteilfahrzeugs bis zum Eingang in Umschlagsanlage (km)

Fahrzeit = Verteilzeit = Zeit zwischen Ausgang und Eingang des Verteilfahrzeugs (Std.)

$$\text{Fahrstrecke pro Mp} = \frac{\text{Fahrstrecke aller Verteilfahrten}}{\text{Gesamte Verteilmenge}} \quad \left(\frac{km}{Mp}\right)$$

$$\text{Fahrzeit pro Mp} = \frac{\text{Fahrzeit aller Verteilfahrten}}{\text{Gesamte Verteilmenge}} \quad \left(\frac{Min}{Mp}\right)$$

$$\text{Fahrstrecke pro Sendung} = \frac{\text{Fahrstrecke aller Verteilfahrten}}{\text{Anzahl verteilter Sendungen}} \quad \left(\frac{km}{Stck}\right)$$

Durchlaufzeit der Sendungen = Zeit zwischen Eingang der Sendungen in den Ballungsraum und ihrer Ankunft beim Empfänger (Std.)

3.3 Entscheidungsvarianten

Innerhalb der Entscheidungsalternativen (Abschnitt 3.1.) kann das System "Stückgutverteilung" noch durch eine ganze Reihe von Varianten bei Untersystemen beeinflußt werden.

Im einzelnen wurden folgende Faktoren variiert:

- die Nutzlast der Nahfahrzeuge
- die Routenwahl beim Verteilen
- die Größe des Nah-Fuhrparks
- die Werte für Minimalzahl und -gewicht an Sendungen einer Ladung, ab denen ein Nahfahrzeug ausfahren darf
- die Standorte der Umschlagsanlage(n)

Alle diese Größen - mit Ausnahme des Standortes - unterliegen weitgehend der freien Entscheidung der Verkehrsträger. Sie haben auf die Effektivität des Systems Auswirkungen, deren Stärke in Abschnitt 5.4. geklärt werden soll.

3.4. Umweltrestriktionen

Die Restriktionen, die die "Umwelt" an den Stückgutverkehr in den Ballungsräumen stellt, sind von den Verkehrsträgern (zumindest kurzfristig) nicht beeinflußbar.

Zu diesen gehören:

- der Ballungsraum selbst mit seiner Infrastruktur
- das Gutaufkommen nach Menge, zeitlichem Anfall und geographischen Relationen
- die Verkehrsverhältnisse im Ballungsraum (Verkehrsorganisation und -dichte)
- die zeitlichen Einschränkungen für das Be- und Entladen bei Versendern und Empfängern.
- die gesetzlichen Vorschriften
- das Arbeitskräftepotential

II. Modellentwicklung und Modellvalidierung.

4. Modellentwicklung

Zu Beginn dieser Arbeit erhob sich die Frage, ob für die Untersuchungen ein analytisches oder ein Simulationsmodell erstellt werden sollte.

Wegen der Komplexität der Zusammenhänge und der Vielzahl der Einflußfaktoren konnten die Modellrelationen nicht durch einen "geschlossenen formelmäßigen Ausdruck", wie dies für ein analytisches Modell gefordert ist (vergl. Hanssmann 78, S.76), dargestellt werden.

Daher wurde ein Simulationsmodell formuliert, das den Lieferverkehr einer GVZ im Ballungsraum abbildet.

Die einzelnen Beziehungen des Modells wurden möglichst realitätsnah abgebildet und die relevanten Phänomene soweit möglich ohne Aggregation aufgenommen.

Auf die Berücksichtigung der Sammelverkehre, die die Nahfahrzeuge der befragten Speditionen im Anschluß an das Verteilen der Sendungen abwickeln, wurde verzichtet, da die erwarteten Effekte der Konzentration im reinen Verteilverkehr genauso auftreten und für die Untersuchung der Wirkungen der Einflußgrößen ebenfalls der reine Verteilverkehr ausreicht.

Die Aufnahme des Sammelverkehrs ins Modell erschien daher als zu aufwendig und hätte die Rechenzeiten wesentlich verlängert.

Der Anteil der Sammelgüter am Gesamtdurchsatz liegt bei den befragten Speditionen zwischen 20 % und 60 %, Dornier System geht bei der Modellbildung von 50 % aus. (Dornier System 1975, S.6 - 26)

Bei der Bemessung des minimalen Fuhrparks wurde daher darauf geachtet, daß am Nachmittag (12.00 - 17.00 Uhr) Zeitreserven für das Sammeln bei den Verteilfahrzeugen entstehen, die in

diesem Zeitraum von einer Verteiltour zurückkehren. Die Reserven liegen bei "minimalem Fuhrpark" zwischen 23 % und 40 %, wenn jedes der genannten Fahrzeuge nur eine Sammeltour an die Verteiltour "anhängt". Die tatsächliche Reserve dürfte wesentlich höher liegen.

Dadurch wird in den Investitionskosten des Fuhrparks die "Sammelkapazität" berücksichtigt, nicht aber die zusätzlichen Betriebskosten.

Die grundlegenden Zusammenhänge zwischen den Elementen des Systems Güterverteilung sollen hier angeführt werden, da sie die Einflußgrößen verdeutlichen, die zur Veränderung der Leistung des Systems führen.

Die tägliche Verteilmenge M(Mp) ergibt sich aus:

$$M = N \times a \times u \times L$$

Dabei ist
- N = Zahl der Verteilfahrzeuge (Größe des Fuhrparks)
- a = Auslastung der Verteilfahrzeuge ($\frac{\text{Gewicht pro Fahrt}}{\text{Nutzlast}}$)
- u = Umlauffaktor der Verteilfahrzeuge (Fahrten pro Tag)
- L = Nutzlast der Verteilfahrzeuge (Mp)

Die Auslastung der Verteilfahrzeuge a setzt sich wiederum zusammen aus

$$a = \frac{G \times Z}{L}$$

- G = Durchschnittsgewicht der Sendungen
- Z = Zahl der Sendungen pro Fahrt

Damit sind die wesentlichen Größen genannt und einander zugeordnet, wobei auf die Darstellung weiterer Abhängigkeiten verzichtet wurde, die aber im folgenden angesprochen werden sollen.

Die Größe des Fuhrparks N ist stark abhängig von der Nutzlast der Fahrzeuge und etwas schwächer davon, welche Auslastungs- und Umlauffaktoren das System zuläßt.

Eine hohe Auslastung der Fahrzeuge kann den Umlauffaktor senken, weil wegen der langen ersten Route eine weitere zeitlich nicht mehr möglich ist.

Das Gewicht der Sendungen ist hier ebenfalls beeinflussend: Ein niedriges Gewicht der Sendungen ermöglicht es, viele Sendungen pro Fahrt zu verteilen, ein hohes Gewicht bringt wenige Kommissionen mit sich.

Über die Kette Auslastung-Nutzlast-Umlauf wirkt das Sendungsgewicht wiederum auf die Größe des Fuhrparks zurück.

4.1. Datenmaterial

Die eingebrachten Beziehungen wurden aus mehreren Quellen abgeleitet:

- Befragung von mehreren Verkehrsträgern
- Studium früherer Untersuchungen
- eigene und fremde Untersuchungen der Gutstruktur bei zwei Speditionen.

Die Datenbeschaffung erwies sich als schwierig, da die Systematik der Erhebungen der Statistischen Ämter für den Aufbau des Modells unbrauchbare Daten liefert.

Die befragten Speditionsbetriebe sind ebenfalls nicht bereit, - teilweise auch nicht in der Lage - detaillierte Angaben zu machen.

Vor demselben Problem standen auch Dornier System, Dorsch Consult und Schwerdtfeger, die für einige Berechnungen Annahmen machen mußten. Schwerdtfeger nennt die "Datenbasis für den Wirtschaftsverkehr und darunter den Lieferverkehr als quantitativ wie qualitativ außerordentlich schmal".(Schwerdtfeger 19[illegible], S.23[illegible])

Dies gilt besonders im Bereich der "Gutstrukturen", die bisher noch kaum untersucht wurden. Mit der Angabe eines

Sendungsdurchschnittsgewichts für verschiedene Verkehrsträger allein kann die Realität in ein Modell nicht mit genügender Genauigkeit übertragen werden, zumal auch dieses bei den befragten Speditionen zwischen 100 kp und 340 kp schwankt, der Paketdienst der Post sogar nur 4,9 kp angibt. Über die Sendungsgrößen im Werkverkehr liegen nach Wissen des Verfassers überhaupt keine Werte vor.

Aus diesen Gründen war es unmöglich, eine Sendungsstruktur vorherzusagen, die bei einer GVZ (ab 500 Mp) auftreten wird. Hier mußte mit Annahmen gearbeitet werden.

Kaum untersucht wurde bisher auch die Struktur der Güterströme, d.h. das Aufkommen an Gütern für oder in die einzelnen Teilgebiete eines Ballungsraumes. Hier mußte auf eine Untersuchung in Stuttgart 1966 zurückgegriffen werden, wobei allerdings nicht Sendungen, sondern Fahrzeuge gezählt wurden. (Dornier System 1972, S.19 ff)

4.2. Überblick über den Simulationsablauf

Der Ablauf der Simulation soll hier in groben Zügen dargestellt werden, um in den darauf folgenden Abschnitten die Details des Modells in einem größeren Zusammenhang überblicken zu können.

Für die Berechnungen, die mit dem Simulationsmodell durchgeführt werden, wurde das Fortran-Programm DISBAL entwickelt, das aus zwei (gekoppelten) Hauptprogrammen und 19 Unterprogrammen besteht. Die Segmentierung in zwei Hauptprogramme war wegen des hohen Speicherplatzbedarfs notwendig. Mit Hilfe dieses Programmes kann der Güterverteilverkehr eines Ballungsraumes mit bis zu 10 Verkehrsträgern und etwa 10 000 Mp Gesamtdurchsatz pro Tag über einen Zeitraum von maximal 40 Tagen nachvollzogen werden, wobei 2000 Ereignisse im voraus mit Zeitpunkt, Art, Nummer des Verkehrsträgers und Nummer des Stadtsektors abgespeichert werden können.

Das Programm könnte in jeder der drei angegebenen Restriktionen um ein Vielfaches erweitert werden, jedoch würde sich dies in einer unzweckmäßigen Anhebung der Rechenzeiten und des Speicherplatzbedarfs niederschlagen.

Als Zeitintervalle wurden Perioden von 0,1 Minuten Dauer gewählt, die über die gesamte Simulationszeit kontinuierlich numeriert werden. Der Zeitpunkt eines Ereignisses wird als Periodennummer beschrieben.

Als Ereignisse gelten:

- Eingang eines Fernfahrzeuges bei einem Verkehrsträger
- Ausgang eines Fernfahrzeuges bei einem Verkehrsträger
- Ausgang eines Nahfahrzeuges bei einem Verkehrsträger in einen bestimmten Stadtsektor
- Eingang eines Nahfahrzeuges bei einem Verkehrsträger

Die Ereignisse werden in einem Ereignisfeld abgespeichert und ständig nach ihrem Zeitpunkt sortiert, abgearbeitete Ereignisse werden sofort gelöscht.

Initiiert wird die Simulation durch die Berechnung des mittleren Zeitabstands zweier Fernfahrzeugeingänge bei einem Verkehrsträger. Dieser Wert definiert als Mittelwert eine Exponentialverteilung, aus der die verwendeten Zeitabstände durch Zufallsexperimente gewonnen werden. Die Zeitabstände werden in Simulationsperioden umgerechnet, im Ereignisfeld abgespeichert und sortiert.

Bei der Abarbeitung der Fernfahrzeugeingangsereignisse wird zunächst der Eingang des nächsten Fernfahrzeuges erzeugt und im Ereignisfeld abgespeichert. Das eingegangene Fahrzeug wird entladen.

- Nach einer festgelegten "Strukturverteilung" werden solange Sendungen durch Zufallsexperimente erzeugt, bis die vorgegebene Nutzlast des Fernfahrzeugs erreicht ist. Gleichzeitig wird für jede Sendung die Nummer des Stadtsektors erzeugt, in den sie ausgeliefert werden muß. Die Daten der Sendungen werden pro Sendungsklasse,

Stadtsektor und Verkehrsträger abgespeichert, bis die Sendungen ausgeliefert werden.
Sobald die Nutzlast des Fernfahrzeugs erreicht ist, wird das Entladen beendet, und die Sendungen werden auf Stauplätzen (für jeden Stadtsektor jeweils einer) bis zur Auslieferung zwischengelagert. Diese "Lagerung" wird durch das Abspeichern der Anzahl der Sendungen pro Verkehrsträger, Stadtsektor und Gewichtsklasse der Sendung dargestellt.

Nach Beendigung des Entladens werden pro Verkehrsträger alle Sektorenplätze abgefragt, ob die Anzahl oder das Gewicht der gelagerten Sendungen bestimmte Mindestwerte überschreiten. Ist dies der Fall, so werden - falls noch nicht vorher geschehen - Ausgangsereignisse für Nahfahrzeuge erzeugt und abgespeichert.

Danach wird das Ausgangsereignis des Fernfahrzeuges aus dem Ballungsraum berechnet und ebenfalls abgespeichert.

Auf diese Weise wird das Ereignisfeld mit Ereignissen gefüllt. Nach der Abarbeitung eines Ereignisses wird jeweils das zeitlich nächste begonnen. Durch die zeitliche Bearbeitung quer durch alle Verkehrsträger ist es möglich, zu jedem Zeitpunkt festzustellen, wieviele Fahrzeuge sich insgesamt im Ballungsraum befinden.

Bei der Bearbeitung des Fernfahrzeugausgangs wird lediglich das Ereignis gelöscht und das Fahrzeug abgebucht.

Die Bearbeitung der geplanten Nahfahrzeugausgänge erfolgt nur, wenn die Gutmenge für den vorgesehenen Sektor einschließlich seiner (vorgegebenen) Nachbarsektoren bestimmte Minimalwerte überschreitet. Außerdem muß ein Fahrzeug verfügbar sein. Ist dies der Fall, so wird das Nahfahrzeug solange mit Sendungen beladen, bis entweder die Nutzlast des Fahrzeugs oder eine Maximalzahl an Sendungen erreicht ist oder keine Sendungen mehr am "Warteplatz" (incl. den Nachbarsektoren) vorhanden sind. Für jede Sendung, die geladen wird, wird durch Zufallsexperimente ein Punkt im Bestimmungssektor erzeugt, zu dem sie gebracht und dann abgeladen werden muß.

Diese Punkte (≙ Kommissionen) werden nach bestimmten Algorithmen zu "Touren" aneinandergereiht, die die Nahfahrzeuge abfahren. Dabei werden die Sendungen entladen.

Die Anfahrpunkte sind in den Sektoren gleichverteilt und stellen die Empfänger von Sendungen dar.

Nach Beendigung der Tour wird der Eingangszeitpunkt des Fahrzeugs beim Verkehrsträger ermittelt und das Eingangsereignis erzeugt und abgespeichert.

Sind für einen Sektor mehr Ladungen bestimmt, als ein Fahrzeug verteilen kann, werden weitere Fahrzeuge eingesetzt, wenn diese vorhanden sind und der jeweilige Rest der Sendungen einen der o.g. Minimalwerte überschreitet.

Bei der Bearbeitung des Nahfahrzeugeingangs beim Verkehrsträger wird das Ereignis gelöscht und das Fahrzeug dem "verfügbaren" Bestand wieder zugebucht.

Während der Abarbeitung aller Ereignisarten wird sowohl das Ereignisfeld ständig sortiert und "gewartet", als auch die durch den "Verteilbetrieb" erzeugten Daten für die in Abschnitt 3.2. aufgeführten Entscheidungskriterien dokumentiert und fortgeschrieben.

Die Dokumentation setzt erst nach einer "Einlaufphase" ein, in der das System mit Sendungen gefüllt wird (je nach Durchsatzmenge zwischen 2 und 6 Tage).

Nach Abschluß der Simulation werden diese Daten ausgegeben.

4.3 Die Modell-Umwelt

4.3.1. Der Ballungsraum

Die meisten Ballungsräume in Deutschland besitzen als Kristallisationspunkt einen Stadtkern, von dem aus die Hauptverkehrsadern radial in die verschiedenen Richtungen ausgehen. Um den Kern herum gruppieren sich mit abnehmender Dichte der Besiedelung bei zunehmender Entfernung vom Kern die einzelnen Stadtteile. Noch weiter außen befinden sich dann einzelne Vorstädte, Dörfer, Industrie- und Gewerbegebiete.

Ein derartiger Ballungsraum wird im Modell durch einen Kreis von 50 km Durchmesser beschrieben, der in vier konzentrische Ringe unterteilt wurde. (Bild 4)

Diese Ringe haben einen Durchmesser von 2, 6, 14 und 50 km. Die drei inneren Durchmesser entsprechen in etwa den Zonen, die für Stuttgart als

- Kern
- inneres Stadtgebiet und
- äußeres Stadtgebiet

definiert wurden (Dornier System 1972, S. 97). Die äußere Grenze wurde nach Angaben von Münchener Speditionsbetrieben festgesetzt, die mit sog. "Stadtfahrzeugen" ein Gebiet befahren, das in der längsten Achse etwa 60 km mißt und im Durchschnitt etwa 50 km.

In radialer Richtung wurde der Ballungsraum in einzelne "Liefersektoren" eingeteilt, insgesamt 44, wovon auf den ersten Ring (von innen nach außen) 4, den zweiten 8, den dritten und vierten je 16 Sektoren entfallen.

Im Programm DISBAL wird der Ballungsraum und seine Sektoren in Polarkoordinaten beschrieben. Die hierzu benötigten Daten gibt Tab. 10 wieder. Pro Sektor sind die Begrenzungen durch Minimal- und Maximal-Radius bzw. -Winkel und die durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeiten wiedergegeben. Zusätzlich werden zu jedem Sektor 5 Nachbarsektoren definiert, deren Bedeutung schon im Abschnitt 4.2. kurz erläutert wurde.

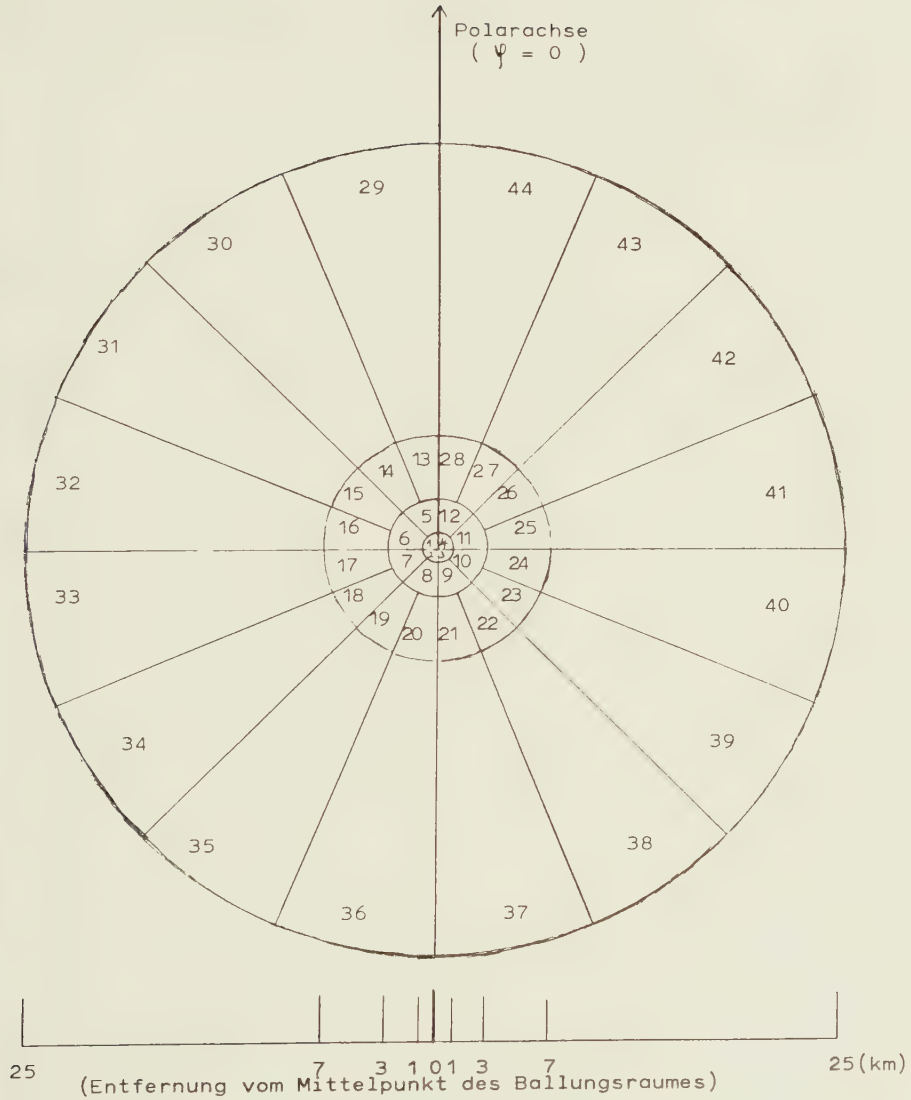


Bild 4: Aufbau des Ballungsraumes und Einteilung in die Sektoren

In ähnlicher Weise teilen die befragten Speditionen ihre Liefergebiete ein, allerdings haben sie es nicht mit einem regelmäßigen geometrischen Gebilde wie im vorliegenden Fall zu tun, sondern berücksichtigen Straßenführungen, (historische) Stadtteilgrenzen, unterschiedliches Gutaufkommen der Gebiete etc.. Betriebe mit ca. 200 Mp Gutdurchsatz bilden etwa 20 - 25 (bei großem durchschnittlichem Sendungsgewicht) bis 35 "Stadtsektoren" (bei geringem Sendungsgewicht).

Für die einzelnen Teile des Ballungsraumes ergeben sich folgende Flächen:

	Ring	pro Sektor
Ring I (inneres Stadtgebiet):	3,14 qkm	0,79 qkm
Ring II (inneres Stadtgebiet):	25,13 qkm	3,14 qkm
Ring III (äußeres Stadtgebiet):	125,66 qkm	7,85 qkm
Ring IV (Umland) :	1 809,51 qkm	113,09 qkm
gesamt :	1 963,44 qkm	-

4.3.2. Die Verkehrsverhältnisse

Die Verkehrsverhältnisse werden im Modell nur durch die Durchschnittsgeschwindigkeiten in den einzelnen Sektoren beschrieben.

Diese Geschwindigkeiten wurden in Anlehnung an Erhebungen in Stuttgart gewählt (vergl. Dornier System 1972, S.97) und für alle Sektoren eines Kreisringes als gleich angenommen. Auf eine Variation der Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tageszeit wurde verzichtet.

Sofern keine anderen Angaben gemacht werden, wurden für die Simulationen die in Tab. 10 für die Sektoren angegebenen Geschwindigkeiten verwendet.

Die Fahrzeuge fahren im Modell zwischen zwei Punkten immer auf der beide verbindenden Gerade. Um die tatsächlichen Verkehrswege zu berücksichtigen werden diese Strecken mit einem "Kurvenfaktor" multipliziert, der mit 1,2 angenommen wurde.

** D I S B A L ** LAUF-NR :127 VOM 80/03/18. ZEIT 20.22.42.

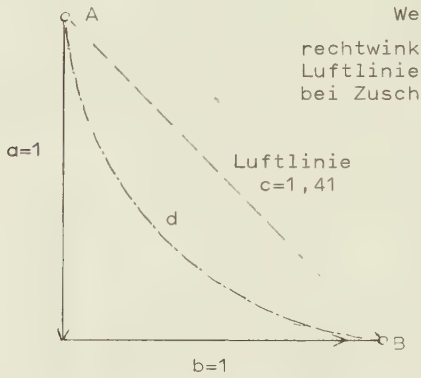
AUSDRUCK DER EINGABEDATEN
==========

DATEN DES BALLUNGSRAUMES UND DER SEKTOREN

NR	RADIEN MIN	RADIEN MAX	WINKEL MIN	WINKEL MAX	FAHR - GESCHW.	NACHBAR-SEKTOREN NR1	NR2	NR3	NR4	NR5
1	0.000	1.000	0.000	.785	20.000	5	13	14	29	30
2	0.000	1.000	.785	1.571	20.000	7	17	18	33	34
3	0.000	1.000	1.571	2.356	20.000	9	21	22	38	39
4	0.000	1.000	2.356	3.142	20.000	11	25	26	41	42
5	1.000	3.000	0.000	.393	30.000	13	14	29	30	1
6	1.000	3.000	.393	.785	30.000	15	16	31	32	1
7	1.000	3.000	.785	1.178	30.000	17	18	33	34	2
8	1.000	3.000	1.178	1.571	30.000	19	20	35	36	2
9	1.000	3.000	1.571	1.963	30.000	21	22	37	38	3
10	1.000	3.000	1.963	2.356	30.000	23	24	39	40	3
11	1.000	3.000	2.356	2.749	30.000	25	26	41	42	4
12	1.000	3.000	2.749	3.142	30.000	27	28	43	44	4
13	3.000	7.000	0.000	.196	35.000	29	5	1	14	30
14	3.000	7.000	.196	.393	35.000	30	5	1	15	31
15	3.000	7.000	.393	.589	35.000	31	6	1	16	32
16	3.000	7.000	.589	.785	35.000	32	6	1	17	33
17	3.000	7.000	.785	.982	35.000	33	7	2	18	34
18	3.000	7.000	.982	1.178	35.000	34	7	2	19	35
19	3.000	7.000	1.178	1.374	35.000	35	8	2	20	36
20	3.000	7.000	1.374	1.571	35.000	36	8	2	21	37
21	3.000	7.000	1.571	1.767	35.000	37	9	3	22	38
22	3.000	7.000	1.767	1.963	35.000	38	9	3	23	39
23	3.000	7.000	1.963	2.160	35.000	39	10	3	24	40
24	3.000	7.000	2.160	2.356	35.000	40	10	3	25	41
25	3.000	7.000	2.356	2.553	35.000	41	11	4	26	42
26	3.000	7.000	2.553	2.749	35.000	42	11	4	27	43
27	3.000	7.000	2.749	2.945	35.000	43	12	4	28	44
28	3.000	7.000	2.945	3.142	35.000	44	12	4	13	29
29	7.000	25.000	0.000	.196	45.000	13	5	1	14	30
30	7.000	25.000	.196	.393	45.000	14	5	1	15	31
31	7.000	25.000	.393	.589	45.000	15	6	1	16	32
32	7.000	25.000	.589	.785	45.000	16	6	1	17	33
33	7.000	25.000	.785	.982	45.000	17	7	2	18	34
34	7.000	25.000	.982	1.178	45.000	18	7	2	19	35
35	7.000	25.000	1.178	1.374	45.000	19	8	2	20	36
36	7.000	25.000	1.374	1.571	45.000	20	8	2	21	37
37	7.000	25.000	1.571	1.767	45.000	21	9	3	22	38
38	7.000	25.000	1.767	1.963	45.000	22	9	3	23	39
39	7.000	25.000	1.963	2.160	45.000	23	10	3	24	40
40	7.000	25.000	2.160	2.356	45.000	24	10	3	25	41
41	7.000	25.000	2.356	2.553	45.000	25	11	4	26	42
42	7.000	25.000	2.553	2.749	45.000	26	11	4	27	43
43	7.000	25.000	2.749	2.945	45.000	27	12	4	28	44
44	7.000	25.000	2.945	3.142	45.000	28	12	4	13	29

Tabelle 10: Daten der Sektoren
Radien in (km), Winkel im Bogenmaß, Geschwindig-

Beim Faktor 1,2 wurde davon ausgegangen, daß die tatsächlichen Wegstrecken insgesamt einen Wert zwischen Luftlinie und einer Verbindung durch rechtwinklige Straßen darstellen:



Weglängen von A nach B :
rechtwinklige Straßenführung: 2
Luftlinie: 1,41
bei Zuschlagsfaktor 1,2: 1,69 ≙ d

Bild 5: Bestimmung des Kurvenfaktors "ZUKURV" für das Programm DISBAL

Eine Rückkoppelung vom Einsatz der Verteilfahrzeuge auf den Verkehrsfluß wurde nicht vorgesehen.

4.3.3. Die Gutstrukturen

Die Gutströme können im Modell in sieben Sendungsgewichtsklassen unterteilt werden. Diese 7 Klassen werden definiert durch die Ober- und Untergrenze und den Mittelwert des Sendungsgewichts. Zudem sind Zeiten für das Be- und Entladen pro Sendung auf Lastwagen oder Bahnwaggon angegeben, die in REFA-Studien der Bundesbahn ermittelt wurden. (Dt. Bundesbahn 1970)

Diese Arbeitszeiten werden sowohl beim Be- und Entladen der Nahfahrzeuge als auch beim Entladen der Fernfahrzeuge verwendet. Die im Modell errechneten Zeiten für das Entladen verschiedener Fahrzeugtypen decken sich mit denen, die in der Praxis erreicht werden (Tab. 11).

Eine Gutstruktur für eine Güterverteilzentrale vorherzusagen, deren Gutaufkommen sich aus den Sendungen zusammensetzt, die heute bei verschiedenen Verkehrsträgertypen anfallen, scheint unmöglich. Allein bei zunächst ähnlich gelagert scheinenden Speditionsbetrieben wurden Durchschnittsgewichte der Sendungen von 110, 200, 240 und 340 kp genannt. Nach Bild 2 liegt der Durchschnitt des Spediteur-Sammelguts bei ca.210 kp.

Für die Simulation wurden verschiedene Strukturen verwendet, im Normalfall eine solche, die aus einer selbst durchgeführten Istaufnahme von 696 Sendungen bei der SWS Südwest Speditions- und Transportgesellschaft mbH in Karlsruhe 1974 abgeleitet wurde. (vergl. Doll 1975, S.41 ff)

Lediglich zur Überprüfung des Einflusses der Gutstruktur auf das Verhalten des Modells wurden andere Strukturen zugrunde gelegt.

Bei der Erstellung des Programms stellte sich sehr schnell heraus, daß die Verfolgung jeder Einzelsendung beim Durchlauf durch das Modell mit allen ihren Einzeldaten (Gewicht, Eingangszeit, Empfänger, Sektor, Ausgangszeit, Lagerplatz etc.) die Rechnerkapazität bei weitem überfordern oder zu extrem langen Rechenzeiten führen würde. Daher war es nur möglich, Sendungen zu erzeugen, deren Gewicht dem Mittelwert ihrer Klasse entspricht. Bei der Erzeugung der Sendungen wird ein Zufallsgenerator benutzt, der aus einer vorgegebenen Verteilung die Klasse der jeweiligen Sendung "zieht". Diese Verteilungen können auf 1 % genau vorgegeben werden.

Tabelle 12 gibt die bei der SWS ermittelten Strukturen und die daraus resultierenden Verteilungen für das Modell wieder. Die "Vorgabe SWS I" entspricht der Originalstruktur bei der SWS, bei Vorgabe SWS II wurden die Anteile der unteren Sendungsklassen angehoben, da erwartet wird, daß eine GVZ vor allem aus dem Bereich des Bahnstückguts und des Werkverkehrs Sendungen an sich ziehen wird. Beide Bereiche haben wesentlich niedrigere Durchschnittsgewichte als der gewerbliche Verkehr (vergl. Bild 2), so daß die Struktur SWS II am ehesten der erwarteten Gutstruktur entsprechen dürfte.

Dornier System führte eine Studie über Sendungsstrukturen bei einer Spedition in Hannover durch, deren Ergebnisse Tab. 13 wiedergibt. (Dornier System 1977, S.1 - 8)

Die Klassen 6 und 7 werden normalerweise nicht durch eine Umschlagsanlage geschleust, sondern direkt zugestellt. Läßt man sie bei der Berechnung des Durchschnittsgewichts außer acht, so wird der Wert bei SWS (202,3 kp) in etwa bestätigt (Hannover 191,95 kp).

Tab. 11 zeigt die Dateneingaben der Sendungsklassen für das Programm DISBAL. Die Verteilung des Anteils der Klassen der Gesamtzahl der Sendungen wurde im Programm selbst aufgenommen.

Bei den Simulationsläufen stellte sich heraus, daß die Vorgaben der Gutstruktur schon bei geringer erzeugter Sendungszahl (etwa 2000) sehr genau eingehalten werden. Die Abweichungen liegen max. bei ±2 %.

Obwohl anzunehmen ist, daß die leichten Sendungsklassen in den Innenstädten (Handel) größere Anteile und die schwereren einen größeren in den Randgebieten (Industrie) haben, wurde im Modell auf eine Steuerung der einzelnen Klassen in bestimmte Sektoren verzichtet. Vielmehr wird die Gutstruktur im ganzen Ballungsraum gleichmäßig verwendet.

4.3.4. Die Güterströme im Ballungsraum

Die einzelnen Teile des Ballungsraumes sind am Gutaufkommen (Empfang und Versand) des Raumes mit ganz unterschiedlichen Mengen beteiligt. Die befragten Speditionen fahren teilweise sogar einzelne Großempfänger mit Komplettladungen an.

Diese Unterschiede konnten im Modell nur grob nachgebildet werden, da über das Gutaufkommen einzelner Stadtgebiete nur eine Untersuchung aus Stuttgart von 1968 vorliegt, die auf die Verhältnisse des Modell-Ballungsraumes umgerechnet wurden. (Dornier System 1972, S.17 ff; Doll 1975, S.9)

** D I S B A L ** LAUF-NR :127 VOM 80/03/18. ZEIT 20.22.42.

AUSDRUCK DER EINGABEDATEN
==========

DATEN DER SENDUNGSKLASSEN

KLASSE	UNTER-GRENZE	OBER-GRENZE	MITTEL-WERT	ENTLADE-ZEIT	STUECK P. SENDUNG
1	0.	20.	15.000	.600	1.250
2	20.	40.	31.000	.600	1.950
3	40.	80.	60.000	1.000	3.170
4	80.	320.	157.000	1.500	7.990
5	320.	1200.	864.000	3.000	17.110
6	10.	1200.	510.000	1.500	1.870
7	10.	1200.	518.000	6.000	15.140

Tabelle 11: Eingabedaten der Sendungsstruktur in das Programm DISBAL

Tabelle 12 : Sendungsstrukturen nach einer Istaufnahme bei der SWS in Karlsruhe 1974 und resultierende Verteilungen für das Simulationsmodell
(Gewichte alle in kp)

Sendungs-klasse	Gewicht von-bis	Anzahl Sendungen	Gewicht	%Anteil d.Klasse	Ø Gewicht	VORGABE SWS I %Anteil	VORGABE SWS I Ø Gew.	VORGABE SWS II %Anteil	VORGABE SWS II Ø Gewicht
1	0- 20	84	1 277,9	12,1	15,21	12	15	20	15
2	20- 40	135	4 209,9	19,4	31,18	20	31	25	31
3	40- 80	160	9 601,9	23,0	60,01	23	60	30	60
4	80- 320	146	22 901,0	21,0	156,86	21	157	10	157
5	320-1200	44	38 027,6	6,3	864,26	6	864	6	864
6	Palettensend.	120	61 157,0	17,2	509,64	17	510	7	510
7	Sondersend.	7	3 625,8	1,0	517,97	1	518	2	518
Summen		696	140 801,1	100,0	-	100	-	100	-
Durchschnitte		-	-	-	202,30	-	198,39	-	142,35

Tabelle 13: Güterstruktur einer Spedition in Hannover (nach einer Untersuchung von Dornier System 1977)
(Gewicht in kp)

Sendungsklasse	Gewicht von - bis	Anzahl Sendungen	Gewicht	% Anteil d. Klasse	Ø Gewicht
1	0 - 50	24 023	580 500	42,4	24,16
2	51 - 100	10 538	779 200	18,6	73,94
3	101 - 500	16 333	3 734 300	28,9	228,64
4	501 - 1000	3 552	2 479 400	6,3	698,03
5	1001 - 2500	2 158	3 291 500	3,8	1 525,25
Zwischensumme		56 604	10 864 900	100,0	Ø 191,95
6	2501 - 3500	354	1 050 200	-	2 966,67
7	3500 - ...	784	7 406 000	-	8 473,68
SUMME		57 742	19 321 100	-	Ø 334,61

Tabelle 14 zeigt die Anzahl der Wirtschaftsfahrten pro Tag zwischen den einzelnen Zonen des Erhebungsgebietes Stuttgart. Beim Vergleich der Transporte pro qkm zeigt sich, daß die Kernzone in etwa doppelt soviele Transporte pro Fläche erhält wie die innere Stadt, diese wiederum doppelt soviele wie die äußere Stadt und diese fünfmal soviele wie das Umland pro qkm bekommt. Die übrige BRD ist bei dieser Betrachtung nicht von Bedeutung.

Das Verhältnis der Transporte pro qkm der Zonen untereinander von

$$20 : 10 : 5 : 1$$

wurde auf den Modellballungsraum übertragen, wobei die vier angesprochenen Zonen des Erhebungsraumes Stuttgart den vier Ringzonen des Modellraumes entsprechen.

Bei der folgenden Darstellung bedeutet

$$d = \text{Dichte} \mathrel{\hat{=}} \text{Transporte pro qkm}$$

	Dichte	Fläche (qkm)
Ring I	$d_1 = 20\, d_4$	$3{,}14 = \pi$
Ring II	$d_2 = 10\, d_4$	$25{,}13 = 8\pi$
Ring III	$d_3 = 5\, d_4$	$125{,}66 = 40\,\pi$
Ring IV	d_4	$1\,809{,}50 = \frac{576\pi}{625\pi}$

Die Anzahl der Transporte pro Ring i ergibt sich aus der Multiplikation von Dichte und Fläche:

$$\text{Anzahl Transporte} = d_i \times F_i$$

Die Gesamtzahl der Transporte berechnet sich aus:

$$\text{Anzahl} = 20\pi\, d_4 + 80\pi\, d_4 + 200\pi\, d_4 + 576\,\pi d_4 = 876\,\pi\, d_4$$

Setzt man die Anzahl der Transporte gleich 100 %, so erhalten die einzelnen Ringe:

Ring I	2,3 %
Ring II	9,1 %
Ring III	22,8 %
Ring IV	65,8 %

der Transporte.

Tabelle 14 : Transportverflechtungsmatrix des Großraums Stuttgart 1968 und seiner Zonen
(Quelle: Dornier System 1972; Fahrten pro Tag)

von \ nach	Kern-zone	innere Stadt	äußere Stadt	Land-kreise	übrige BRD	SUMME
Kernzone	2 173	211	1 [illegible]	1 140	185	5 239
innere Stadt	1 917	4 367	3 177	1 336	365	11 562
äußere Stadt	1 552	3 117	26 013	13 029	1 930	45 641
Landkreise	1 513	2 943	12 813	242 537	14 463	273 979
übrige BRD	266	524	3 495	15 626	18 183	38 094
SUMME	7 421	10 862	47 033	274 168	35 131	374 515
FLÄCHE (qkm)	5,9	18,4	143,0	4 420	-	4 587,3
Transporte/qkm	1 257,8	590,3	328,9	62,0	-	81,7

Diese Verteilung wurde in das Modell aufgenommen in der Annahme, daß sich die Zahl der Transporte und die Zahl der Sendungen, die eine Zone erhält, gleich verhalten.

Innerhalb der Ringe werden die Sendungen gleichmäßig auf die Sektoren verteilt.

Die Befragung der Disponenten bei Speditionen ergab ebenfalls, daß die äußeren Zonen ein Vielfaches der inneren Zonen eines Ballungsraumes an Gütern erhalten.

Statistiken, die darüber jedoch genaueren Aufschluß geben würden, existieren in keinem der Betriebe.

Eine weitere unbekannte Größe ist die Zahl der Sendungen, die ein Empfänger durchschnittlich bei einer Verteilfahrt erhält.

Bei den Simulationen wurde daher von folgender Verteilung ausgegangen:

1 % der Empfänger erhalten 4 Sendungen
5 % der Empfänger erhalten 3 Sendungen
10 % der Empfänger erhalten 2 Sendungen
84 % der Empfänger erhalten 1 Sendung

Dies ergeben durchschnittlich 1,23 Sendungen pro Empfänger.

4.3.5. Restriktionen der Anlieferzeiten

Zeitliche Einschränkungen für das Entladen bei den Empfängern wurden im Modell nicht aufgenommen, allerdings wurde durch die Beschränkung der Zahl der Entladestellen in Abhängigkeit von der Zeit des Beladebeginns des Verteilfahrzeugs beim Verkehrsträger erreicht, daß etwa 90 % aller Verteilfahrzeuge bis 18^{00} Uhr die Umschlagsanlage wieder erreicht haben.

Diese Restriktionsgröße MAXZAA (t) (= Maximalzahl der Ausgangssendungen pro Fahrzeug in Abhängigkeit von der Tageszeit t)

ist folgendermaßen definiert:

$$MAXZAA = \begin{cases} MAXZAL; & 5.30 \text{ Uhr} \leq t < 10.00 \text{ Uhr} \\ (MAXZAL \times (2{,}6667 - t/6)); & 10.00 \text{Uhr} \leq t < 13.00 \text{ Uhr} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Konstante MAXZAL gehört zum Datensatz des Programms DISBAL und kann beliebig variiert werden. Die meisten Simulationen wurden mit MAXZAL = 50 durchgeführt.

Die Funktion hat folgenden Verlauf für MAXZAL = 100 %
(% von Maxzal)

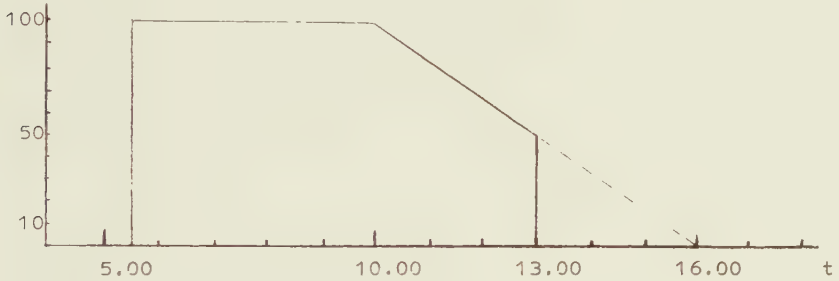


Bild 6: Verlauf der Maximalzahl Sendungen, die ein Verteilfahrzeug laden darf über den Tag.

Für einige wenige Simulationen wurde der letzte Beladebeginn der Nahfahrzeuge, die am Nachmittag ausfahren sollen, auf etwas spätere Zeitpunkte als 13.00 Uhr gelegt. Für diese Simulationen wurde MAXZAA entsprechend der gestrichelten Linie berechnet.

Bei den befragten Speditionen kommen die Verteilfahrzeuge ebenfalls bis spätestens 19.00 Uhr zurück, der überwiegende Teil zwischen 16.00 und 18.00 Uhr. Die erste Ausfahrt der Fahrzeuge liegt in der Regel vor 7.00 Uhr.

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen für zwei Münchner Speditionen mit je ca. 200 Mp Tagesdurchsatz den Eingang und Ausgang der Verteilfahrzeuge über den Tagesverlauf, wie er sich bei den Simulationen mit Daten der Speditionen ergab. Die Zahlen sind über die Simulationsdauer von 38 Tagen kumuliert.

Die Unterschiede im "Tagesgang" zwischen den beiden Speditionen beruhen auf verschieden Sendungsstrukturen und Verteilfahrzeugen. In beiden Fällen werden die vorgegebenen Verteilzeiten eingehalten.

Bei München I (Bild 7) liegt der erste Ausgang vor 6.00 Uhr. Das rührt daher, daß der Beladebeginn auf 5.30 Uhr festgesetzt wurde und wegen des großen Durchschnittgewichts der Sendungen (340 kp) und der relativ kleinen eingesetzten Fahrzeugen (Ø 3,5 Mp) kurze Beladezeiten entstehen. Der Ausgang dieser Fahrzeuge liegt demnach wenige Minuten vor 6.00 Uhr.

Bei München II (Bild 8) liegt der erste Ausgang in der Spanne von 6.00 - 7.00 Uhr. Bei 220 kp Durchschnittsgewicht der Sendungen und 5,5 Mp Nutzlast der Fahrzeuge liegt die Beladezeit zwischen 30 und 45 Minuten, d.h. die Fahrzeuge gehen kurz nach 6.00 Uhr aus.

Dieser geringe Zeitunterschied von Minuten zwischen vor und nach 6.00 Uhr wirkt sich bei der Zuordnung auf die gebildeten "Zeitintervalle" als Zeitunterschied von anscheinend einer ganzen Stunde aus.

In der Zeit zwischen 12.00 Uhr und 13.00 Uhr wurde für die Fahrer der Fahrzeuge, die sich auf einer Verteilroute befinden, eine Pause vorgesehen, weil in dieser Zeit meist keine Anliefermöglichkeit besteht. Diese Pause gilt nicht für Fahrzeuge, die in der Umschlagsanlage beladen werden.

4.3.6. Sonstige Umweltrestriktionen

Weitere Beschränkungen, die die "Umwelt" der Güterverteilung auferlegt, wurden nicht in das Modell aufgenommen.

Insbesondere wurde das Arbeitskräftepotential (Fahrer) als ausreichend angenommen.

Die gesetzlichen Vorschriften führen ebenfalls nicht zu einer

** D I S B A L ** LAUF-NR :145 VOM 80/05/31.ZEIT 19.30.24.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
==========

VERTEILUNG DER NAH-FZ-BEWEGUNGEN UEBER DEN TAG

TAG : ZEIT:	NAHFAHRZEUGE : ANZAHL	: PROZENT:	TAGESGANG 2%	20%	40%	60%	80%
< 1A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
< 2A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
< 3A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
< 4A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
< 5A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
< 6A:	978	: 38.4	:XXXXXXXXXXXXXXXXXXX				
E:	0	: 0.0	:				
< 7A:	18	: .7	:X				
E:	0	: 0.0	:				
< 8A:	48	: 1.9	:X				
E:	164	: 6.4	:000				
< 9A:	401	: 15.8	:XXXXXXXX				
E:	551	: 21.6	:0000000000				
<10A:	400	: 15.7	:XXXXXXXX				
E:	303	: 11.9	:000000				
<11A:	75	: 2.9	:X				
E:	131	: 5.1	:000				
<12A:	263	: 10.3	:XXXX				
E:	356	: 14.0	:0000000				
<13A:	208	: 8.2	:XXXX				
E:	186	: 7.3	:0000				
<14A:	105	: 4.1	:XX				
E:	114	: 4.5	:00				
<15A:	110	: 4.3	:XX				
E:	171	: 6.7	:000				
<16A:	0	: 0.0	:				
E:	167	: 6.5	:0000				
<17A:	0	: 0.0	:				
E:	250	: 9.8	:00000				
<18A:	0	: 0.0	:				
E:	116	: 4.6	:00				
<19A:	0	: 0.0	:				
E:	17	: .7	:0				
<20A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
<21A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
<22A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
<23A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				
<24A:	0	: 0.0	:				
E:	0	: 0.0	:				

Bild 7: Verteilung der Ein- und Ausgänge der Verteilfahrzeuge über den Tag (Kontrollauf für Sped. München I)

*** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
*** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 8 MINUTEN ***
*** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; MUENCHEN I ***
GESMENGE: 220000. ANZAHL-VT 1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL 6 ZUKURV 1.2
-LAST-F. 20000. -NAH: 3500. LASTFAKTOR: 70.0 START-DOKUM 100800
AHL: 144000 END-PER: 647999 SIM-DAUER: 547199 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.00
DIEN: 1.0 3.0 7.0 30.0 DU-GESCHW: 20.0 30.0 35.0 45.0 MAX 78

** D I S B A L ** LAUF-NR :165 VOM 80/04/23.ZEIT 19.21.00.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
==========

VERTEILUNG DER NAH-FZ-BEWEGUNGEN UEBER DEN TAG

:TAG :	NAHFAHRZEUGE :		T A G E S G A N G				
:ZEIT:	ANZAHL :	PROZENT:	2%	20%	40%	60%	80%
:< 1A:	0 :	0.0 :					
: E:	0 :	0.0 :					
:< 2A:	0 :	0.0 :					
: E:	0 :	0.0 :					
:< 3A:	0 :	0.0 :					
: E:	0 :	0.0 :					
:< 4A:	0 :	0.0 :					
: E:	0 :	0.0 :					
:< 5A:	0 :	0.0 :					
: E:	0 :	0.0 :					
:< 6A:	119 :	7.5 :	XAXA				
: E:	0 :	0.0 :					
:< 7A:	640 :	40.0 :	XAXAXAXAXAXAXAXAXAXAXA				
: E:	0 :	0.0 :					
:< 8A:	1 :	.1 :					
: E:	3 :	.2 :	0				
:< 9A:	16 :	1.0 :	X				
: E:	14 :	.9 :	0				
:<10A:	29 :	1.8 :	X				
: E:	75 :	4.6 :	00				
:<11A:	178 :	11.1 :	XAXAXAX				
: E:	351 :	21.9 :	0000000000				
:<12A:	378 :	23.6 :	XAXAXAXAXAXAX				
: E:	313 :	19.6 :	0000000000				
:<13A:	94 :	5.9 :	XAX				
: E:	18 :	1.1 :	0				
:<14A:	15 :	1.0 :	X				
: E:	4 :	.3 :	0				
:<15A:	54 :	3.4 :	XAX				
: E:	44 :	2.8 :	0				
:<16A:	24 :	1.5 :	X				
: E:	90 :	5.7 :	000				
:<17A:	0 :	0.0 :					
: E:	213 :	13.3 :	0000000				
:<18A:	0 :	0.0 :					
: E:	279 :	17.4 :	0000000000				
:<19A:	0 :	0.0 :					
: E:	150 :	9.3 :	00000				
:<20A:	0 :	0.0 :					
: E:	21 :	1.3 :	0				
:<21A:	0 :	0.0 :					
: E:	3 :	.2 :	0				
:<22A:	0 :	0.0 :					
: E:	0 :	0.0 :					
:<23A:	0 :	0.0 :					
: E:	0 :	0.0 :					
:<24A:	0 :	0.0 :					
: E:	0 :	0.0 :					

Bild 8: Verteilung der Ein- und Ausgänge der Verteilfahrzeuge über den Tag (Kontrollauf für Sped. München II)

*** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
*** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 3 MINUTEN ***
*** ROUTENZIELE SENDUNGSSTRUKTURDATEN, MUENCHEN II ***
TAGESMENGE: 20000. ANZAHL-VT 1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL 6 ZUKURV 1.2
NU-LAST-F. 20000. -NAH: 5500. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM 100600
PZAHL: 1440U END-PER: 047999 SIM-DAUER: 547199 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.00
RADIEN: 1.0 3.0 7.0 30.0 DU-GESCHW: 20.0 30.0 35.0 45.0 MAX 73

Beschränkung oder sie wurden bereits bei den "Verkehrsverhältnissen" (Abschnitt 4.3.2.) (z.B. Höchstgeschwindigkeiten) oder den anderen Punkten berücksichtigt.

4.4. Die Modell-Alternativen

Die Größenklassen der einzelnen GVZ stellen die Alternativen des Modells dar (vergl. Abschn. 3.1.). Um sie im Modellablauf zu bestimmen, bedarf es mehrerer Eingabedaten:

- Eingabe der Tagesmenge im Ballungsraum
- Eingabe der Zahl der Verkehrsträger (≙ GVZ)
- Eingabe der Prozentanteile, die jeder Verkehrsträger erhalten soll.

Diese Daten sind in den Tabellen 15 und 16 aufgeführt.

Die Tagesmenge (≙ Größenklasse) der einzelnen GVZ berechnet sich folgendermaßen:

Tagesmenge GVZ = (Tagesmenge im Ballungsraum) x (% Anteil der GVZ)

Entsprechend der Tagesmenge GVZ und der Nutzlast der Fernfahrzeuge wird der mittlere Zeitabstand zwischen zwei Fernfahrzeugeingängen errechnet (Interarrivaltime). (vergl. Abschn. 4.2.):

$$\text{mittlere Zeit (Min)} = \frac{\text{Nutzlast Fernfahrzeug}}{\text{Tagesmenge GVZ}} \left(\frac{\text{kp x Tag}}{\text{kp}} \times \frac{1440\ \text{min}}{\text{Tag}}\right)$$

Diese mittlere Zeit steuert über eine Exponentialverteilung, die durch einen Zufallsgenerator angesprochen wird, die Zahl der eingehenden Fernfahrzeuge pro Tag und damit die eingehende Gutmenge.

4.5. Die Modellvarianten

Im Gegensatz zu den Modellalternativen, die als strategische Entscheidungsmöglichkeiten angesehen werden können, sind die in Abschn. 3.3. genannten "Varianten" taktischer Natur.

** D I S B A L ** LAUF-NR :154 VOM 80/03/18. ZEIT 23.17.05.

AUSDRUCK DER EINGABEDATEN
==========

ANZAHL DER VERKEHRSTRAEGER				10
TAGESMENGE IM BALLUNGSRAUM [KP]				100000.000
NUTZLAST DER FERNFAHRZEUGE [KP]				20000.000
NUTZLAST DER NAHFAHRZEUGE [KP]				5000.000
FAKTOR FUER MINIMALE AUSLASTUNG NAHFAHRZEUG				40.000
ZUSCHLAG ZUR LUFTLINIE FUER KURVEN ETC.				1.200
%-SATZ GLEICHER EIN- UND AUSGAENGE DER FERNFZ				65.000
RADIUS DES BALLUNGSRAUMES [KM]				25.000
MAXIMALZAHL SENDUNGEN PRO NAHFAHRZEUG				50
MINIMALZAHL SENDUNGEN PRO NAHFAHRZEUG				10
ANZAHL PERIODEN PRO TAG				1440
STARTPERIODE DER SIMULATION				1440
PERIODE, AB DER DOKUMENTIERT WIRD				100800
ENDPERIODE DER SIMULATION				647999
STARTWERT DES ZUFALLSGENERATORS				1397
ANZAHL EINGAENGE DES BALLUNGSRAUMES				16
ANZAHL DER SENDUNGSKLASSEN				7
ANZAHL DER BENUTZTEN TEXTKONSERVEN				1
STEUERUNG DER SENDUNGSZAHL PRO EMPFAENGER	1.000	.160	.060	.010
STEUERUNG DER SENDUNGEN IN DIE SEKTOREN	.023	.114	.342	1.000
GESCHWINDIGKEITEN IN DEN SEKTORRINGEN [KMH]	20.00	30.00	35.00	45.00
RADIEN DER SEKTORRINGE [KM]	1.00	3.00	7.00	25.00
ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER [MIN]				0.000
NUMMER DER ROUTINE ZUR SENDUNGSVERTEILUNG				1

Tabelle 15: Eingabedaten und Steuerparameter für das Programm DISBAL

** D I S B A L ** LAUF-NR :134 VOM 80/03/18. ZEIT 23.17.05.

AUSDRUCK DER EINGABEDATEN

DATEN DER VERKEHRSTRAEGER

NR	STANDORT RADIUS	STANDORT WINKEL	GEWICHTS -ANTEIL	LAUFZEITEN-SEND NORMAL	LAUFZEITEN-SEND MAXIMAL	ANZAHL NAH-FZ	ABFERTIGUNGSZEIT NAHFZ	ABFERTIGUNGSZEIT FERN-FZ
1	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
2	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
3	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
4	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
5	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
6	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
7	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
8	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
9	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000
10	3.000	3.000	10.000	90.000	600.000	5	10.000	15.000

Tabelle 16: Eingabedaten der Verkehrsträger für das Programm DISBAL

Sie bestimmen die Größe der Entscheidungskriterien innerhalb der einzelnen GVZ-Größenordnungen.

4.5.1. Eigenschaften der Verteilfahrzeuge

Besondere Wichtigkeit bei der Güterverteilung kommt der Auswahl des richtigen Fahrzeugtyps zu. Braun vergleicht diese Auswahl mit der Wahl der "zweckmäßigsten Fertigungsmethode in industriellen Betrieben " (Braun 1959, S.62).

Im Modell wird der Fahrzeugtyp lediglich durch seine Nutzlast charakterisiert. Zusätzliche Ausstattungsmöglichkeiten wie Hebebühnen etc. bleiben unberücksichtigt. Unter Nutzlast wird die Last verstanden, die das Fahrzeug zuladen darf. Die Nutzlast wird für alle Verteilfahrzeuge bei einem Simulationslauf als gleich angesetzt, obwohl die befragten Speditionen jeweils einen"gemischten" Fuhrpark beschäftigen. Diese "Mischung" kommt hauptsächlich daher, daß bei einigen Speditionen Subunternehmer die Verteilung übernehmen, die jeweils ihre eigenen Fahrzeuge besitzen, über deren Auslegung diese Unternehmer selbst bestimmen.

Außerdem erweisen sich in den Kernzonen der Städte kleinere Fahrzeuge als günstiger, da sie beweglicher und die Entladezeiten in den Kernen meist beschränkt sind.

Die meisten der verwendeten Fahrzeuge bei den Speditionen befinden sich jedoch in der gleichen Nutzlastklasse.

Die durchschnittliche Nutzlast bei den befragten Speditionen liegt zwischen 3.5 Mp und 5.5 Mp. bei der Post bei 1,75 Mp (jeweils in München). Die meisten Simulationen wurden mit 4 Mp, 5 Mp und 6 Mp Nutzlast durchgeführt, die Nachrechnungen der Speditionen mit den von ihnen genannten Daten.

Wegen des geringen Anteils von 2.3 % der Kernzonen an den verteilten Gütern (vergl. Abschn. 4.3.4.) dürfte sich die

"Vereinheitlichung" des Fuhrparks im Modell in den Ergebnissen der Simulation kaum auswirken. Zudem haben die befragten Speditionen maximal einen Durchsatz von 200 Mp pro Tag. Durch die angestrebte Konzentration auf mindestens 500 Mp pro Tag ergeben sich gerade für den Kernbereich der Städte starke Veränderungen im Verteilen dadurch, daß durch die Verkürzung der Entfernungen zwischen den Empfängern von einem Halbepunkt aus mehrere Empfänger bedient werden können, so daß ein Großteil der Rangierfahrten weg- und damit die Größe des Fahrzeugs nicht mehr so sehr ins Gewicht fällt.

Durch die Konzentration wird auch die Lieferleistung in der zur Verfügung stehenden Zeit (Einfahrbeschränkungen) in der Kernzone erhöht, so daß auch aus diesem Grund der Einsatz der "normalen" Verteilfahrzeuge gerechtfertigt scheint.

Die Nutzlast der Nahfahrzeuge gehört zum Eingabedatensatz des Modells und kann beliebig gewählt werden (Tabelle 15).

4.5.2. Größe der Verteilfuhrparks

Wie in Abschnitt 4. dargestellt, ist die Größe des Fuhrparks abhängig von

- der täglichen Verteilmenge
- der Auslastung der Fahrzeuge
- der Sendungsstruktur
- der Anzahl Fahrten pro Fahrzeug und Tag
- der Nutzlast der Fahrzeuge

Hinzu kommen die Anforderungen an die Elastizität in bezug auf Änderungen der Verteilmenge und an die durchschnittliche Durchlaufzeit der Sendungen durch das System.

Wegen der Komplexität der Beziehungen ist es unmöglich, die Zahl der benötigten Fahrzeuge genau rechnerisch festzulegen, vielmehr wurde in zahlreichen Simulationen für verschiedene Konstellationen der "minimale" Fuhrpark ermittelt.

Um die Fuhrparks verschiedener GVZ-Größenklassen untereinander vergleichen zu können, wird eine Prozentgröße in bezug auf den Tagesdurchsatz gebildet. Ein 100 % Fuhrpark liegt vor, wenn die Zahl der Fahrzeuge

$$N = \frac{\text{Tagesmenge der GVZ}}{\text{Nutzlast der Verteilfahrzeuge}}$$

ist.
In den relevanten GVZ-Klassen 100 - 10 000 Mp wurden minimale Fuhrparks von 60 % - 90 % ermittelt.

Die Nachrechnung der Speditionsdaten mit dem Modell ergab, daß beim Einsetzen der genannten Daten (Sendungsstruktur, Ø Nutzlast und Zahl der Fahrzeuge) die Ergebnisse in bezug auf Verteilmenge, Auslastung der Fahrzeuge und Zahl der Fahrten pro Tag übereinstimmten, sodaß davon ausgegangen werden kann, daß die Angaben, die das Modell über die minimale Fuhrparkgröße liefert, auch für die größeren GVZ-Klassen realistisch sind.

Die Zahl der Verteilfahrzeuge wird mit den Daten der Verkehrsträger zusammen ins Modell eingegeben (Tab.16).

Wie in Abschnitt 4. erwähnt, wird dabei eine Reservekapazität für Sammelverkehre vorgehalten. Die Reserven der Fuhrparks, die für die Kostenberechnungen herangezogen wurden, zeigen die Tabellen 17 und 18. Bei der Berechnung der Reserve wurde davon ausgegangen, daß jedes der zwischen 12.00 Uhr und 17.00 Uhr eingehenden Fahrzeuge direkt an die Verteiltour nur eine Sammeltour anschließt und dabei maximal 30 % der Nutzlast einbringt. Die tatsächliche Reserve liegt mit Sicherheit höher, da ein Teil der Fahrzeuge mindestens 2 Sammeltouren abwickeln kann, da die Sammelmenge pro Haltepunkt wesentlich höher liegt als die Verteilmenge. Bei den Versendern handelt es sich meist um Industriebetriebe, die einen Teil der Produktion täglich per Spedition versenden.

Die o.g. Reserve kommt im Modell dadurch zustande, daß die nach 13.00 Uhr einkommenden Fahrzeuge nicht mehr ausfahren.

Tabelle 17: Zusammenstellung der freien Sammelkapazitäten des Fuhrparks pro Tag der Simulationen, die zur Kostenberechnung verwendet wurden. Nutzlast: 4 000 kp
(Eingangsfahrzeuge zwischen 12.00 Uhr und 17.00 Uhr berücksichtigt)

GVZ	Lauf	Anzahl Fahrzeuge mit freien Zeiten					SUMMEN PRO VT + Tag		Reserve
Klasse	Nr.	5 Std.	4 Std.	3 Std.	2 Std.	1 Std.	Fahrzeuge	Stunden	
10	137	82	52	119	116	88	1,20	3,41	38,4 %
20	139	-	92	209	220	234	1,99	4,39	31,3 %
50	141	10	127	241	238	264	4,40	10,11	35,2 %
100	132	-	154	232	236	265	8,87	20,49	28,4 %
200	133	-	226	391	383	392	18,56	43,13	29,7 %
500	126	59	178	341	342	309	40,97	100,77	26,2 %
1000	135	-	180	391	361	328	84,00	196,20	26,9 %
2000	138	-	175	472	450	523	162,00	353,90	25,9 %
5000	144	-	271	673	638	696	379,67	845,83	24,3 %
10 000	144/II	133	141	683	573	651	727,00	1 691,67	23,3 %

Berechnung der Reserve: (Fahrzeuge x 3 200 kp x 0,8): Tagessolleistung (Mp)

Tabelle 18: Zusammenstellung der freien Sammelkapazitäten des Fuhrparks pro Tag der Simulationen, die zur Kostenberechnung verwendet wurden. Nutzlast: 5 000 kp
(Eingangsfahrzeuge zwischen 12.00 Uhr und 17.00 Uhr berücksichtigt.)

GVZ Klasse	Lauf-Nr.	Anzahl Fahrzeuge mit freien Zeiten von 5 Std.	4 Std.	3 Std.	2 Std.	1 Std.	SUMMEN PRO VT und TAG Fahrzeuge	Stunden	Reserve
10	59	37	88	145	109	84	1,16	3,19	46,4 %
20	03	17	113	199	137	148	1,75	4,36	35,0 %
50	25	81	250	427	344	307	4,70	12,27	37,5 %
100	29/II	-	197	266	240	192	8,95	22.58	36 3 %
200	114	182	324	670	496	291	19,63	54,99	39,3 %
500	15	109	280	591	473	271	43,10	116,38	34,5 %
1000	106	266	441	873	666	367	87,10	247,07	34,8 %
2000	112	323	262	573	402	183	173,80	533,40	34,3 %
5000	120	454	373	841	596	318	430,33	1200,17	34,4 %
10 000	120/II	-	518	1124	693	439	693,50	1817,25	27,7 %

Berechnung der Reserve: (Fahrzeuge x 5000 kp x 0,8) : Tagessolleistung

4.5.3. Die Verteilrouten

In der Praxis werden den Fahrern der Verteilfahrzeuge meist keine Anweisungen gegeben, welche Fahrstrecke sie innerhalb ihres Zustellbezirkes einhalten sollen. Sie kennen sich in "ihrem" Bezirk, den sie täglich befahren, am besten aus, wissen, wann wo welche Engpässe auftreten und wann bestimmte Empfänger angefahren werden können.

Die Verteilfahrzeuge sind mit Funk ausgerüstet, so daß von der Zentrale aus bei Liefermahnungen und dem Eingang von Sammelaufträgen Umlenkungen der Fahrzeuge vorgenommen werden können. Dies geschieht häufig.

Die Fahrzeuge befahren nicht den kürzesten Weg, sondern eine Kombination aus hoher Lieferleistung (Schnelligkeit) und Nutzen (zusätzliche Aufträge) bestimmt die Fahrroute.

Daher wurde auf eine "Wegeoptimierung" der Verteilroute im Modell verzichtet und zwei einfache Routinen entwickelt, nach denen der Fahrweg bestimmt wird.

Route 1: Diese Routine wird nur angewendet, wenn mindestens 4 Empfänger angefahren werden müssen. (Bild 9)
Die beiden Empfänger mit dem größten und kleinsten Winkel im Verteilsektor werden ermittelt und die Winkelhalbierende berechnet. Die übrigen Empfänger werden danach sortiert, ob ihr Winkel größer oder kleiner ist als der der Winkelhalbierenden. Von den 4 Punkten auf beiden Seiten der Winkelhalbierenden, die vom Mittelpunkt des Ballungsraumes jeweils den größten bzw. kleinsten Abstand haben, wird derjenige als Startpunkt der Route ausgewählt, der den geringsten Abstand von der GVZ hat. Von ihm aus werden die übrigen Punkte auf seiner Seite der Reihenfolge ihres Abstands (größer oder kleiner vom Mittelpunkt des Ballungsraums) abgefahren, beim letzten auf die andere Seite gewechselt und auf dieser in der umgekehrten Richtung die Punkte abgefahren.

Die Strecken von der GVZ zum Startpunkt und vom Endpunkt zur GVZ werden direkt gefahren.

Liegt die Zahl der Empfänger unter vier, wird immer nach Route 2 gefahren, auch wenn Route 1 im Datensatz ausgewählt wurde.

Route 2: Der Ablauf von Route 2 ist wesentlich einfacher (Bild 10). Von den 2 Empfängern, die vom Mittelpunkt den größten bzw. kleinsten Abstand haben, wird derjenige als Startpunkt ausgewählt, der den geringsten Abstand von der GVZ besitzt. Von ihm aus werden die übrigen Empfänger in der Reihenfolge ihres Abstandes vom Mittelpunkt abgefahren.

Die Wahl der Routine erfolgt über die Dateneingabe für DISBAL (Tabelle 15).

4.5.4. "Minimal- und Maximalwerte" für die Verteilung

Unter "Minimalwerten" für die Verteilung wird eine minimale Anzahl an Sendungen bzw. eine minimale Auslastung ("Lastfaktor") verstanden, die ein Sektor aufweisen muß, damit ein Verteilfahrzeug eingesetzt wird. Als Mindestzahl wurden meist 10 Sendungen angenommen, als Lastfaktor 0,4 oder 40 % Auslastung der Nutzlast des Verteilfahrzeugs. Die Minimalwerte spielen nur bei den kleinen GVZ-Klassen eine Rolle; ab etwa 500 Mp Tagesdurchsatz ist immer genügend Verteilgut vorhanden, um ein Fahrzeug einzusetzen. Die Aufsplittung der Entscheidung in Mindestzahl oder Mindestgewicht wurde vorgenommen, weil wenige große Sendungen oder auch mehrere Kleinsendungen mit geringem Gesamtgewicht wirtschaftlich zustellbar sind.

Die "Maximalwerte" sind die Nutzlast des Verteilfahrzeugs und eine Maximalzahl an Sendungen,die geladen werden dürfen. Diese Zahl richtet sich danach, wie viele Kommissionen ein Fahrzeug auf einer Fahrt erledigen kann. Sie ist von der Tageszeit abhängig (vergl. Abschn. 4.3.5., Bild 6).

In der Praxis werden diese Werte ähnlich gehandhabt, wenn auch die Nutzlast manchmal durch die Ladung überschritten wird.

Die Werte werden im Datensatz für DISBAL angegeben (Tabelle 15).

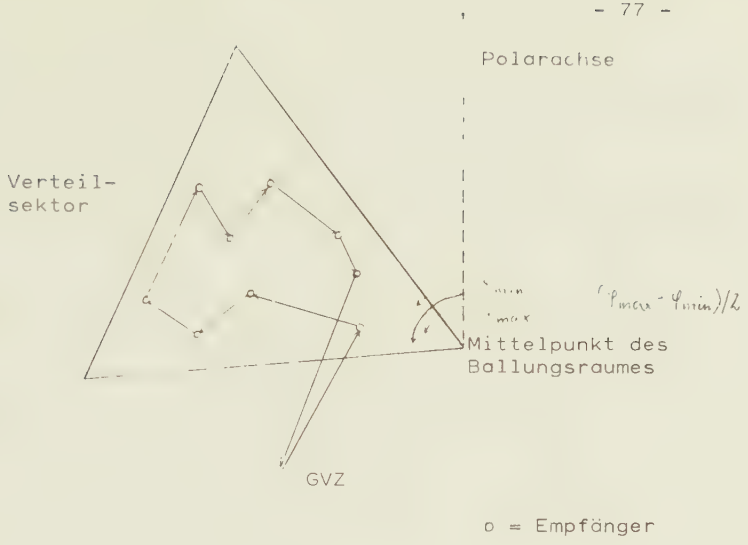


Bild 9: Routenfestlegung nach ROUTE 1

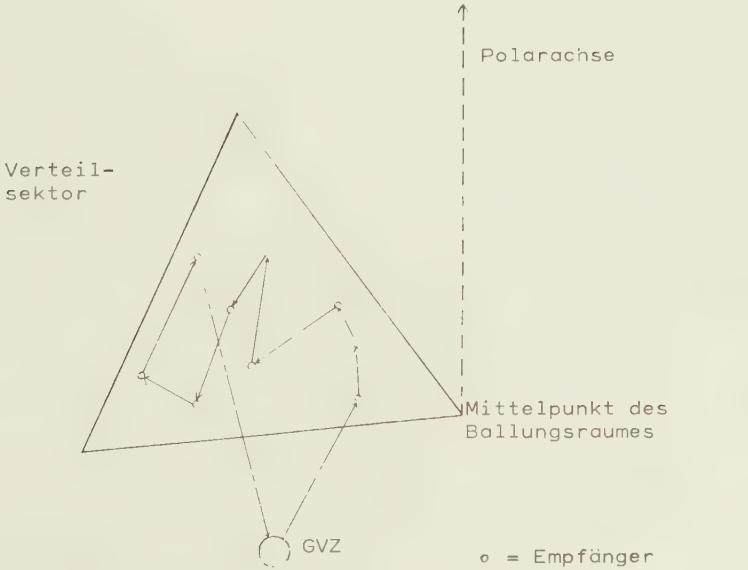


Bild 10: Routenfestlegung nach ROUTE 2

4.5.5. Der Standort der Umschlagsanlage

Für den Standort der Umschlagsanlage gibt es in den Ballungsräumen nur wenige Auswahlmöglichkeiten, da nur in geringem Maße genügend große Grundstücke für Neubauten oder Erweiterungen bestehender Anlagen vorhanden sind.

Von der Wirtschaftlichkeit des Verteilverkehrs her ist ein Standort nahe dem Zentrum des Ballungsraumes wünschenswert, da so die Verteilwege und -zeiten minimiert werden. Dafür ist allerdings Voraussetzung, daß das Gutaufkommen gleichmäßig über den Ballungsraum verteilt ist. Bestehen eindeutige Schwerpunkte, so kann der richtige Standort ganz woanders liegen.

Eine weitere wichtige Forderung ist ein Gleisanschluß, die ideale Kombination wäre ein integriertes System aus Stückgutbahnhof und GVZ, zumal der "kombinierte Verkehr"(Hauptlauf mit der Bahn) immer stärker zunimmt.

Die befragten Speditionen in München haben ihre Umschlagsanlagen in etwa 2 und 7 km Entfernung vom Zentrum, die SWS in Karlsruhe liegt etwa 3 km vom Zentrum entfernt.

Die meisten Simulationen wurden mit einem Standort der Umschlagsanlage durchgeführt, der 3 km vom Zentrum des Ballungsraumes entfernt lag. Eine Erhöhung des Abstandes mit zunehmendem Tagesdurchsatz wurde nicht berücksichtigt, da nicht unbedingt davon ausgegangen werden kann, daß bei Einführung der größeren GVZ-Klassen ihre Entfernung vom Kern größer sein wurde als die der kleineren.

Vielmehr ist denkbar, daß in Bebauungsplänen für größere GVZ-Einheiten eher genügend Raum in Zentrumsnähe vorgesehen wird, als für kleine, da mit ihrer Größe möglicherweise auch das Bewußtsein für die Wichtigkeit eines günstigen Standortes steigt.

Die Daten des Standorts werden in Polarkoordinaten ins Modell eingegeben. (Tabelle 16)

4.6. Die Berechnung der Entscheidungskriterien im Modellablauf

4.6.1. Die Auslastung der Verteilfahrzeuge

Die Erhöhung der Auslastung der Verteilfahrzeuge wurde im Kapitel I als eine der wichtigsten Effekte bei der Einführung von GVZ dargestellt.

Als Auslastung wird im Modell das Verhältnis von Lademenge zu Nutzlast eines Verteilfahrzeuges zum Zeitpunkt des Ausfahrens aus der Umschlagsanlage betrachtet.

Auf die Berechnung einer "mittleren Auslastung" proportional zum Routenweg wurde verzichtet, ebenso auf die Berechnung von Tonnenkilometern (tkm) als dem üblichen Leistungsmaß in der Verkehrswirtschaft.

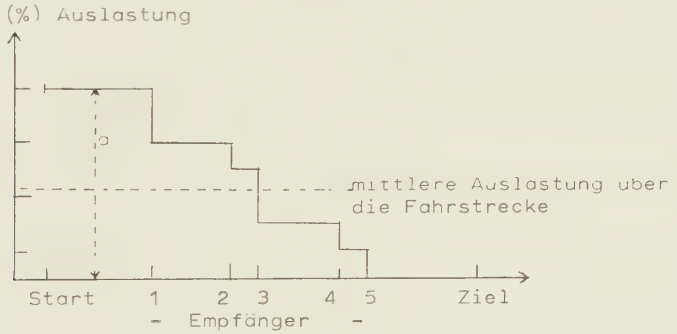


Bild 11: Berechnung der Auslastung der Verteilfahrzeuge im Modell (a = verwendeter Wert) und mittlere Auslastung über der Wegstrecke. (1 - 5 ≙ Abladestellen)

Die Verwendung des Tonnenkilometers und der "mittleren Auslastung" im Verteilverkehr ist ungeeignet, da in der Praxis die Wege zwischen zwei Entladestellen und oft auch die Reihenfolge der Entladestellen nicht festgehalten werden. Zudem gibt die "mittlere Auslastung" keinen Aufschluß über mögliche Kapazitätsreserven.

Für die Berechnung der Auslastung werden folgende Formeln verwendet:

für die einzelne Fahrt:

$$\text{Auslastung (\%)} = \frac{\text{Ladegewicht der Sendungen}}{\text{Nutzlast des Fahrzeugs}} \times 100$$

für alle Fahrten eines Verkehrsträgers:

$$\text{Auslastung (\%)} = \frac{\text{Gewicht aller ausgehenden Sendungen pro VT}}{\text{Anzahl Fahrten pro VT} \times \text{Nutzlast d. Fahrzeuge}} \times 100$$

für alle Fahrten im Ballungsraum:

$$\text{Auslastung (\%)} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(\text{Gewicht aller ausgehenden Sendungen pro VTi})}{\sum_{i}(\text{Anzahl Fahrten pro VTi} \times \text{Nutzlast d. Fahrzeuge})} \times 100$$

Bei jedem Simulationslauf wird ein Auslastungsprofil der Fahrzeuge erstellt (Bild 12), für den Ballungsraum eine Zusammenstellung aller Verkehrsträger. Das Profil ist in 11 Auslastungsklassen unterteilt, pro Klasse wird die Anzahl der Fahrzeuge angegeben, die ihr angehören, der Absolutwert wird in % aller ausgefahrenen Fahrzeuge angegeben, zusätzlich der %-Wert graphisch umgesetzt. Die Summenzeile gibt die durchschnittliche Auslastung aller Fahrten des Verkehrsträgers an.

4.6.2. Der Umlauffaktor der Verteilfahrzeuge

Der Umlauffaktor "u" gibt an, wieviele Fahrten ein Fahrzeug pro Tag durchschnittlich macht, und ist somit ein Maßstab der Auslastung des Fuhrparks.
Er wird folgendermaßen berechnet:

$$u = \frac{\text{Anzahl der Fahrten während der Simulationsdauer}}{\text{Anzahl Verteilfahrzeuge} \times \text{Tage der Simulation}}$$

Bei der Datenausgabe des Programms DISBAL wird "u" als Prozentwert angegeben und wird als "Auslastungsgrad des Fuhrparks" bezeichnet.

Bild 13 zeigt den Ausdruck. Wie bei den Fahrzeugen wurde eine Einteilung in 10 Auslastungsklassen vorgenommen. Die absolute

** D I S B A L ** LAUF-NR :134 VOM 80/03/18.ZEIT 23.29.41.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :

AUSLASTUNGSPROFIL DER NAHFAHRZEUGE

AUSL: <[%]	KLASSEN - ANZAHL	PROZENT	AUSLASTUNGS - PROFIL 2% 20% 40% 60% 80%
VERKEHRSTRAEGER - NR. 1			
< 10:	0	0.0	
< 20:	4	4.1	XX
< 30:	13	13.3	XXXXXXX
< 40:	16	16.3	XXXXXXXX
< 50:	11	11.2	XXXXXX
< 60:	7	7.1	XXXX
< 70:	15	15.3	XXXXXXXX
< 80:	6	6.1	XXX
< 90:	8	8.2	XXXX
<100:	18	18.4	XXXXXXXXX
>100:	0	0.0	
S/DU:	98	57.8	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
VERKEHRSTRAEGER - NR. 2			
< 10:	1	.7	X
< 20:	5	3.6	XX
< 30:	16	11.4	XXXXXX
< 40:	18	12.9	XXXXXX
< 50:	25	17.9	XXXXXXXXX
< 60:	24	17.1	XXXXXXXXX
< 70:	11	7.9	XXXX
< 80:	18	12.9	XXXXXX
< 90:	11	7.9	XXXX
<100:	11	7.9	XXXX
>100:	0	0.0	
S/DU:	140	54.5	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
VERKEHRSTRAEGER - NR. 3			
< 10:	0	0.0	
< 20:	7	5.5	XXX
< 30:	12	9.4	XXXXX
< 40:	16	12.5	XXXXXX
< 50:	20	15.6	XXXXXXXX
< 60:	16	12.5	XXXXXX
< 70:	8	6.3	XXX
< 80:	15	11.7	XXXXXX
< 90:	9	7.0	XXXX
<100:	25	19.5	XXXXXXXXXX
>100:	0	0.0	
S/DU:	128	59.5	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Bild 12: Auslastungsprofile der Verteilfahrzeuge

*** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
*** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 8 MINUTEN ***
*** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; SwS II ***

AGESMENGE: 100000. ANZAHL-VT 10 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL10 ZUKURV 1.2
U-LAST-F. 20000. -NAH: 5000. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM 100800
ZAHL: 14400 END-PER: 647999 SIM-DAUER: 547199 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.00
ADIEN: 1.0 3.0 7.0 25.0 DU-GESCHW: 20.0 30.0 35.0 45.0 MAX

Häufigkeit gibt an, wie oft der Fuhrpark im Bereich der Klasse ausgelastet war. Da dies bei jedem Verteilfahrzeugausgang registriert wurde, entspricht die Summe (absolut) der Zahl der Fahrten während der Simulationsdauer, die Prozentsätze der einzelnen Klassen wurden auf diese Summe bezogen und graphisch dargestellt. In der Summenspalte "Prozent" ist der Auslastungsgrad des Furpark angegeben - berechnet nach obiger Formel. Der Wert 180,7 % bedeutet, daß der Fuhrpark täglich zu 180,7 % ausgelastet ist oder - als Umlauffaktor ausgedrückt - die Fahrzeuge im Durchschnitt täglich 1,807 Fahrten machen.

Die Werte werden pro Verkehrsträger und für den gesamten Ballungsraum (ENDSUMMEN) wiedergegeben.

4.6.3. Zusammenhang von Umlauffaktor und Auslastung der Verteilfahrzeuge

Umlauffaktor u und Auslastung a bestimmen die Verteilmenge G eines gegebenen Fuhrparks der Größe N mit Fahrzeugen der Nutzlast L.

$$G = a \times u \times N \times L \qquad N,L = \text{konst.}$$

Daraus ist ersichtlich, daß bei konstantem Fuhrpark die Anpassung an Mengenveränderungen nur über a und u erfolgen kann.

In der Praxis werden geringe Erhöhungen der Verteilmenge zunächst über die Auslastung der Fahrzeuge abgefangen, größere durch häufigeren Einsatz der Fahrzeuge; erst wenn a und u voll ausgeschöpft sind, wird der Fuhrpark vergrößert. Bei Verminderungen der Verteilmenge wird umgekehrt verfahren.

Das Modell reagiert auf Veränderungen in ganz ähnlicher Weise, wie Bild 14 zeigt, bei dem a und u und das Produkt (a x u) über der Verteilmenge aufgetragen sind, entsprechend der Formel:

$$(a \times u) = \frac{G}{N \times L} \qquad N,L = \text{konst.}$$

** D I S B A L ** LAUF-NR : 6 VOM 79/12/17.ZEIT 23.43.45.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
==========

AUSLASTUNGSPROFIL DES FUHRPARKES

:AUSL:	HAEUFIGKEIT :		AUSLASTUNGSPROFIL				
:<[%]:	ABSOLUT :	PROZENT:	2%	20%	40%	60%	80%
:			VERKEHRSTRAEGER - NR. 1				
:< 10:	440 :	5.5 :	XXX				
:< 20:	440 :	5.5 :	XXX				
:< 30:	440 :	5.5 :	XXX				
:< 40:	400 :	5.0 :	XXX				
:< 50:	480 :	6.0 :	XXX				
:< 60:	440 :	5.5 :	XXX				
:< 70:	400 :	5.0 :	XXX				
:< 80:	480 :	6.0 :	XXX				
:< 90:	440 :	5.5 :	XXX				
:<100:	3990 :	50.2 :	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX				
:>100:	0 :	0.0 :			NAH-FZ VERFUEGBAR: 110		
:S/00:	7950 :	100.7 :	///				

** D I S B A L ** LAUF-NR : 6 VOM 79/12/17.ZEIT 23.43.45.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
==========

AUSLASTUNGSPROFIL DES FUHRPARKES

:AUSL:	HAEUFIGKEIT :		AUSLASTUNGSPROFIL				
:<[%]:	ABSOLUT :	PROZENT:	2%	20%	40%	60%	80%
:			E N D S U M M E N				
:< 10:	440 :	5.5 :	XXX				
:< 20:	440 :	5.5 :	XXX				
:< 30:	440 :	5.5 :	XXX				
:< 40:	400 :	5.0 :	XXX				
:< 50:	480 :	6.0 :	XXX				
:< 60:	440 :	5.5 :	XXX				
:< 70:	400 :	5.0 :	XXX				
:< 80:	480 :	6.0 :	XXX				
:< 90:	440 :	5.5 :	XXX				
:<100:	3990 :	50.2 :	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX				
:>100:	0 :	0.0 :					
: :	7950 :	100.7 :	///				

Bild 13: Auslastungsprofil eines Fuhrparks

*** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
*** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 6 MINUTEN ***
*** SPAETESTER NAH-FZ-AUSGANG UM 15.00 UHR ***
AGESMENGE: 1000000. ANZAHL-VT 1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL10 ZUKURV 1.2
00-LAST-F. 20000. -NAH: 5000. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM 100000
ZAHL: 14400 END-PER: 676799 SIM-DAUER: 575999 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.00
ADIEN: 1.0 3.0 7.0 25.0 00-GESCHW: 20.0 30.0 35.0 45.0 MAX 174

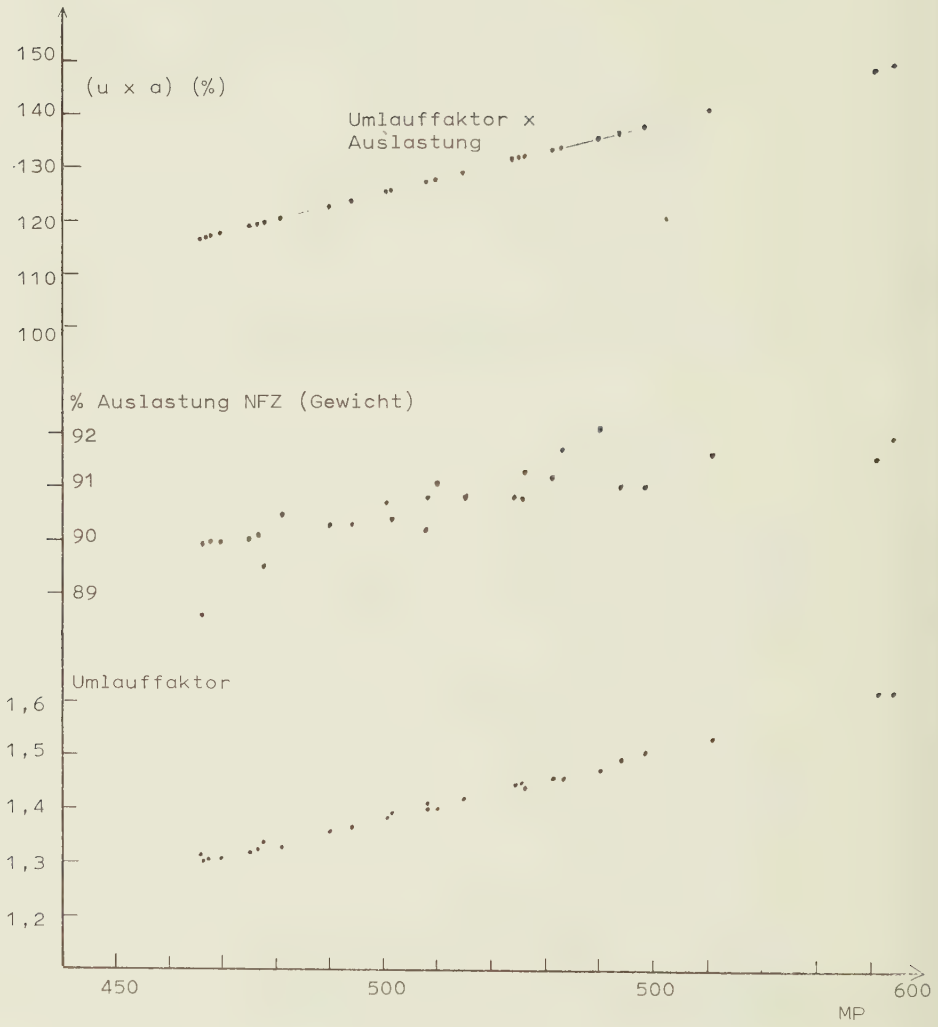


Bild 14: Zusammenhang zwischen Tagesdurchsatz, Auslastung der Verteilfahrzeuge und Umlauffaktor

Demnach ist das Produkt (a x u) eine lineare Funktion von G, was sich aus Bild 15 ebenfalls eindeutig ergibt, das aus den Ergebnissen von Simulationen mit einem Fuhrpark von 80 Fahrzeugen mit 5 Mp Nutzlast zusammengestellt wurde. Bei den Simulationen wurde nur die Tagesmenge G variiert.

Über die gesamte Spannbreite von 466 Mp bis 594 Mp Tagesdurchsatz (G = 27,5 %) liegt die Auslastung der Fahrzeuge zwischen 88,6 % und 92,1 %, entsprechend einer Erhöhung von 4 %, der Umlauffaktor zwischen 1,30 und 1,62, entsprechend einer Erhöhung von 24,6 %.

Dies bestätigt die realitätsnahe Reaktion des Modells in bezug auf Mengenänderungen.

4.6.4. Die Verteilstrecken und -zeiten

Während der Simulationsläufe werden die Strecken und Zeiten, die die Fahrzeuge zum Verteilen der Sendungen zurücklegen bzw. benötigen, permanent verfolgt und pro Verkehrsträger registriert. Als Verteilzeit gilt die Zeitspanne zwischen dem Ausgangszeitpunkt eines Nahfahrzeugs aus der Umschlagsanlage und dem Eingangszeitpunkt, als Verteilstrecke der in dieser Zeit zurückgelegte Weg.

Verteilzeit und -weg setzen sich aus folgenden Elementen zusammen:

- Fahrt von der Umschlagsanlage zum 1. Empfänger:
  Die Luftlinie zwischen den beiden Punkten wird mit dem "Kurvenzuschlagsfaktor" (vergl. Abschn. 4.3.2.) multipliziert. Die Zeit der Fahrt errechnet sich aus Strecke/Geschwindigkeit, wobei jeweils beim Übertritt des Fahrzeugs von einer Geschwindigkeitszone in die andere die gültige Geschwindigkeit verwendet wird.
- Fahrten zwischen den einzelnen Empfängern:
  Wie bei allen Fahrten mit Zuschlag auf die Luftlinie bei der Zeitberechnung wird ebenfalls der "Zonenwechsel"

berücksichtigt, da mehrere Sektoren bedient werden können. Die Reihenfolge der Empfänger wird entsprechend der Routenwahl festgelegt (Abschn. 4.5.3.)

- Halte bei den einzelnen Empfängern:
  Rangierfahrten bei den Empfängern werden in der Wegerechnung nicht berücksichtigt. Für das Anmelden und Abfertigen des Fahrers wird eine "fixe Abfertigungszeit" pro Halt registriert, die für alle Halte gleich gewählt wird (siehe Tabelle 15), für das Entladen pro Sendung die Entladezeit, die sich nach der Sendungsklasse richtet (Tabelle 11).
- Mittagspause der Fahrer:
  Hat das Fahrzeug um 12.00 Uhr den letzten Empfänger noch nicht erreicht, so wird eine Stunde Pause eingeschoben. Für Fahrzeuge in der Umschlagsanlage oder auf der Rückfahrt gilt diese Pause nicht.
- Fahrt vom letzten Empfänger zur Umschlagsanlage
  Diese Werte werden wie die Hinfahrt zum 1. Empfänger berechnet.

Die Wege und Zeiten der einzelnen Fahrten werden addiert und pro Verkehrsträger und dem ganzen Ballungsraum ausgegeben (Tab. 19), für die Fahrzeiten eine Verteilung graphisch dargestellt (Bild 15). Außerdem werden die Extremwerte für Weg und Zeit festgehalten.

Die Verteilzeit der Fahrzeuge ist in Bild 16 als Teil der Durchlaufzeit der Sendungen durch das System dargestellt.

4.6.5. Verteilweg und -zeit bezogen auf die Verteilleistung

Um die "Produktivität" (Leistung/Einsatzfaktoren) verschiedener Fuhrparks und GVZ-Klassen bei möglicherweise noch unterschiedlicher "Umwelt" vergleichbar zu machen, werden die errechneten Verteilwege und -zeiten auf die Verteilleistung bezogen, die in Mp pro Tag und Sendungen pro Tag gemessen wird. So entstehen die Entscheidungskriterien:

** D I S B A L ** LAUF-NR :133 VOM 80/03/18.ZEIT 23.04.15.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :

FAHRSTRECKE UND -ZEIT DER NAHFAHRZEUGE

VT NR	NAH-FZ AUSGANG	FAHR - ZEIT [STD] MINIMAL	MITTEL	MAXIMAL	FAHR - STRECKE [KM] MINIMAL	MITTEL	MAXIMAL
1	103	2.428	4.602	8.961	44.218	69.855	118.405
2	136	2.351	4.617	8.586	46.287	68.997	136.426
3	91	2.136	5.211	8.417	40.965	71.952	127.080
4	110	1.620	4.612	8.376	41.201	68.727	98.433
5	110	1.711	4.965	8.512	48.583	70.892	119.650
6	102	2.375	5.083	8.605	46.913	71.634	131.261
7	122	2.154	4.561	8.837	46.141	69.428	114.885
8	69	2.560	4.754	8.969	42.374	70.603	118.063
9	115	2.157	5.027	8.680	43.645	69.913	118.132
10	117	2.712	4.921	8.472	40.616	71.070	137.025
*SUM:	1075	1.620	4.824	8.969	40.616	70.221	137.025

Tabelle 19: Fahrstrecke und -zeit der Verteilfahrzeuge

** D I S B A L ** LAUF-NR :133 VOM 80/03/18.ZEIT 23.04.15.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :

VERTEILUNG DER FAHRZEITEN DER NAHFAHRZEUGE

FZEI: <STD:	HAEUFIGKEIT ABSOLUT	PROZENT:	ZEIT-VERTEILUNG 2% 20% 40% 60% 80%
	VERKEHRSTRAEGER - NR. 10		
< 1:	0	0.0	
< 2:	0	0.0	
< 3:	7	6.0	:XXX
< 4:	24	20.5	:XXXXXXXXXX
< 5:	38	32.5	:XXXXXXXXXXXXXXXX
< 6:	25	21.4	:XXXXXXXXXXX
< 7:	10	8.5	:XXXX
< 8:	11	9.4	:XXXXX
< 9:	2	1.7	:X
< 10:	0	0.0	
> 11:	0	0.0	

S/DU:	NFZ-AUS:	FAHRZEIT: MITTEL	STRECKE : MITTEL
	117	575.7: 4.9	8315.1: 71.1

Bild 15: Darstellung der Verteilung der Fahrzeiten der Verteilfahrzeuge

- Strecke pro verteiltes Sendungsgewicht (km/Mp)
- Zeit pro verteiltes Sendungsgewicht (Min/Mp)
- Strecke pro Sendung (km/Stck)
- Zeit pro Sendung (km/Stck)

4.6.6. Die Durchlaufzeit der Sendungen im System

Die Durchlaufzeit der Sendungen kann im Modell nur im Durchschnitt ermittelt werden, da die Daten der Sendungen nicht im einzelnen, sondern nur klassenweise festgehalten werden können. (vergl. Abschn. 4.3.3.)

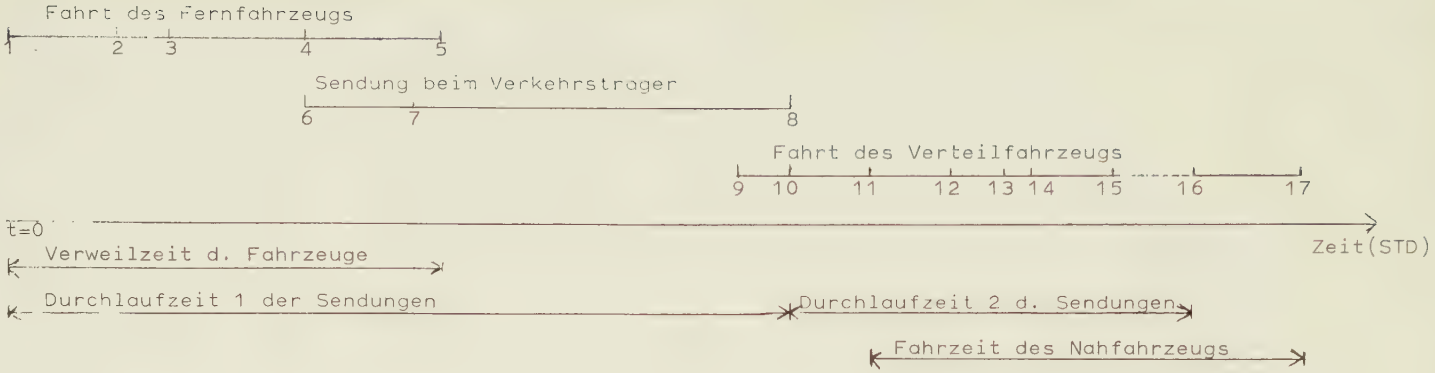
Die Berechnung der Durchlaufzeit zeigt Bild 17. Sie ist in Durchlaufzeit 1 und 2 aufgeteilt. Als Beginn der Durchlaufzeit 1 wird der Eintritt der Sendungen ins Modell angesehen, d.h. der Zeitpunkt, zu dem das Fernfahrzeug in den Ballungsraum einfährt. Dadurch werden bei diesem Kriterium auch verschiedene Fahrzeiten der Fernfahrzeuge berücksichtigt, die z.B. vom Standort der Umschlagsanlage abhängig sein können. In der Durchlaufzeit 1 sind alle Zeiten bis zum Beladebeginn der Verteilfahrzeuge enthalten (Punkt 8 bzw. 10 in Bild 17):

- Fahrzeit des Fernfahrzeugs zur Umschlagsanlage
- Abfertigungszeit des Fernfahrzeugs und Rampenzuweisung (Tabelle 16, "Fern-FZ")
- Entladezeit des Fernfahrzeugs
- Laufzeit der Sendungen zum Sektorenwarteplatz (Tabelle 16, "Normal")
- Zwischenlagerzeit am Warteplatz des Sektors bis zum Beladebeginn des Verteilfahrzeugs

Für den Eingang der Sendungen ins System und das Ende der Zwischenlagerzeit (Punkt 1 bzw 8 in Bild 17) wird jeweils ein mittlerer Zeitpunkt TM 1 und TM8 errechnet:

$$TM1 = \frac{1}{\text{Anzahl Eingangssend.}} \times \sum_{i=1}^{m} (\text{Periode des Eingangs } i \times \text{Sendungen auf Fahrzeug } i)$$

$$TM8 = \frac{1}{\text{Anzahl Ausgangssend.}} \times \sum_{j=1}^{k} (\text{Periode d. Beladebeginns } j \times \text{Sendungen auf Fahrzeug } j)$$



1- EINGANG DES FERNFAHRZEUGS IN DEN BALLUNGSRAUM
FAHRT ZUM VERKEHRSTRÄGER

2- EINGANG BEIM VERKEHRSTRÄGER
REGISTRIERUNG UND RAMPENZUWEISUNG

3- ENTLADEBEGINN, ENTLADEN DER SENDUNGEN

4- ENTLADEENDE,FAHRT VOM VT ZUM BR-AUSGANG

5- AUSGANG DES FERNFAHRZEUGES AUS DEM BR

6- SENDUNGSEINGANG AM RAMPENPLATZ
VERTEILEN DER SENDUNGEN ZUM SEKTOREN WARTEPLATZ

7- EINGANG AM WARTEPLATZ; ZWISCHENLAGERN

8- LAGERZEIT ENDE

9- BEREITSTELLUNG DES NAHFAHRZEUGES

10- BELADEBEGINN

11- BELADEN ENDE, AUSFAHRT DES NAHFAHRZEUGS
FAHRT ZUM 1.EMPFÄNGER

12- ANKUNFT BEIM 1.EMPFÄNGER, ANMELDUNG

13- ENTLADEBEGINN

14- AUSGANG BEIM 1.EMPFÄNGER, FAHRT ZUM NÄCHSTEN

15- EINGANG BEIM NÄCHSTEN, WEITERE KOMMISSIONEN

16- AUSGANG BEIM LETZTEN EMPFÄNGER, RÜCKFAHRT

17- EINGANG BEIM VERKEHRSTRÄGER

Bild 16: Berechnung der Durchlaufzeit

Die Differenz TM8 - TM1 ergibt die Durchlaufzeit 1.

Um zu erreichen, daß die Grundgesamtheit der Eingangs- und Ausgangssendungen übereinstimmt, wurde eine Routine im Programm installiert, die sicherstellt, daß die Berechnung der Durchlaufzeit 1 erst einen Tag nach dem sonstigen Dokumentationsbeginn (nach der Einlaufphase) beginnt und die Zahl der Ausgangssendungen die der Eingangssendungen nicht übersteigt. Damit wird erreicht, daß der Auf- oder Abbau des Zwischenlagers am Ende der Simulation die Berechnung nicht verfälscht.

Bei der Berechnung der Durchlaufzeit 2 wird obige Grundgesamtheit ebenfalls beibehalten; die Summe der Differenzen zwischen Beladebeginn der Verteilfahrzeuge und dem Entladezeitpunkt bei den Empfängern pro Sendung wird durch die Zahl der Ausgangssendungen dividiert.

Die Addition von Durchlaufzeit 1 und 2 ergibt die Gesamtdurchlaufzeit der Sendungen.

Bei den Simulationen hat sich gezeigt, daß die Durchlaufzeit ein sehr empfindlicher Wert in bezug auf Gutstromveranderungen bei knapp bemessenem Fuhrpark ist. Dies sowohl bei Änderungen der Menge als auch bei Änderungen im Zeitverlauf des Guteingangs. Starke Schwankungen des Guteingangs von Tag zu Tag erhöhen die Durchlaufzeit besonders, da der Fuhrpark nur eine bestimmte Lieferkapazität besitzt und dadurch Sendungen bis zum nächsten Tag liegenbleiben.

4.6.7. Das Verkehrsaufkommen der GVZ

Das Verkehrsaufkommen wird anhand von 4 Einzelkriterien gemessen:

- Maximalzahl der Verteilfahrzeuge, die sich gleichzeitig im Ballungsraum befinden
- gefahrene Verteilkilometer pro Tag
- Fahrzeit pro Tag
- durchschnittliche Zahl der ausgehenden Verteilfahrzeuge

in den beiden am meisten belasteten Stunden (siehe Bilder 7,8 ; 6 - 8 Uhr)

Bei den Simulationen hat sich gezeigt, daß das Verkehrsaufkommen der Verteilfahrzeuge mit den Beobachtungen von Schwerdtfeger übereinstimmt, wonach einer "breiten Spitze der Liefervorgänge zwischen 8.00 und 10.00 Uhr" ein "allmählicher Abfall bis 18.00 folgt. (Schwerdtfeger 1976, S.236)

4.6.8. Die Elastizität der Alternativen und Varianten

Die Elastizität einer Alternative oder Variante kann nur durch weitere Simulationen mit verändertem Tagesdurchsatz bei sonst gleichen Eingabedaten überprüft werden. Generell kann gesagt werden, daß die Elastizität stark abnimmt, wenn der zur Verfügung stehende Fuhrpark sich seiner Leistungsgrenze nähert. Dies macht sich zuerst in schnell steigenden Durchlaufzeiten der Sendungen bemerkbar, danach können nicht mehr alle Sendungen verteilt werden.

Bei den Simulationen, die zur Kostenberechnung verschiedener Alternativen verwendet wurden, ist eine Kapazitätsreserve des "minimalen Fuhrparks" von wenigstens 10 % vorhanden, die durch Zweitsimulationen oder aus der Aufstellung über ein- und ausgehende Sendungen pro Tag nachgewiesen wurde. Dabei mußte an mehreren Tagen die Lieferleistung um mindestens 10 % über dem Solldurchsatz pro Tag liegen (Bild 17), und die Durchlaufzeit durfte nicht übermäßig ansteigen.

4.6.9. Die Wirtschaftlichkeit der Alternativen

Die Wirtschaftlichkeit wird durch Vergleich der Betriebskosten verschiedener Alternativen beurteilt. Diese werden nicht bei der Simulation selbst ermittelt, sondern aus den gewonnenen Daten außerhalb des Modells berechnet. Der Ablauf dieser Berechnungen ist in Abschnitt 6. dargestellt.

```
   ** D I S B A L **  LAUF-NR : 81  VOM 80/01/25.ZEIT 05.34.43.

 AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
 ===================================

 EINGANGS - UND AUSGANGSGEWICHT DER SENDUNGEN PRO TAG
```

TAG: -NR:	GEWICHT [MP]	PROZ.VOM: SOLL [%]:	60% 80% 100% 120% 140%
:21-E:	486.2	97.2	X
: -A:	528.7	105.7	000
:22-E:	445.6	89.1	XXXXX
: -A:	499.0	99.8	0
:23-E:	406.5	81.3	XXXXXXXXX
: -A:	457.7	91.5	0000
:24-E:	732.5	146.5	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
: -A:	501.6	100.3	0
:25-E:	446.8	89.4	XXXXX
: -A:	470.1	94.0	000
:26-E:	646.4	129.3	XXXXXXXXXXXXXX
: -A:	457.5	91.5	0000
:27-E:	427.3	85.5	XXXXXXX
: -A:	544.2	108.8	0000
:28-E:	753.1	150.6	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
: -A:	552.0	110.4	00000
:29-E:	467.2	93.4	XXX
: -A:	555.6	111.1	000000
:30-E:	466.9	93.4	XXX
: -A:	491.5	98.3	0
:31-E:	484.8	97.0	XX
: -A:	574.8	115.0	0000000
:32-E:	568.7	113.7	XXXXXXX
: -A:	547.5	109.5	00000
:33-E:	485.7	97.1	X
: -A:	502.0	100.4	0
:34-E:	303.2	60.6	XXXXXXXXXXXXXXXXXXX
: -A:	460.4	92.1	0000
:35-E:	567.4	113.5	XXXXXXX
: -A:	492.0	98.4	0
:36-E:	524.4	104.9	XX
: -A:	484.0	96.8	00
:37-E:	465.1	93.0	XXX
: -A:	472.0	94.4	000
:38-E:	485.1	97.0	X
: -A:	503.4	100.7	0
:SU-E:	19591.5	103.1	XX
: -A:	19644.3	103.4	00

Bild 17: Schwankungen des Ein- und Ausgangsgewichts der Sendungen über den Simulationszeitraum

```
  *** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
  *** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 6 MINUTEN ***
  *** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; SWS II ***
TAGESMENGE:  500000. ANZAHL-VT 10 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL 5 ZUKURV 1
NU-LAST-F.   20000. -NAH:   5000. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM  100800
PZAHL: 14400 END-PER:  647999 SIM-DAUER:  547199 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.
RADIEN:   1.0   3.0   7.0  25.0 DU-GESCHW:  20.0  30.0  35.0  45.0 MAX   4
```

4.6.10. Werte der Fernfahrzeuge

Wie für die Verteilfahrzeuge werden im Modell auch für die Fernfahrzeuge die wichtigsten Werte erfaßt:

- Anzahl der ein- und ausgehenden Fahrzeuge
- durchschnittliches Ladegewicht
- Fahrstrecke und -zeit im Ballungsraum
- Durchschnittsgeschwindigkeit
- zurückgelegte Strecke pro Mp Eingangssendungen
- maximale Anzahl Fernfahrzeuge im Ballungsraum
- durchschnittliche Verweilzeit im Ballungsraum (Fahrzeit, Entladen, fixe Zeiten)

Die Simulationsergebnisse der Fernfahrzeuge werden zur Beurteilung von Alternativen (fast) nicht herangezogen, da die Eingangsdaten für sie bei allen Läufen gleich gelassen wurden.

4.7. Sonstige Beziehungen und Restriktionen im Modell

4.7.1. Die Arbeitszeit der Umschlagsanlage

Die Umschlagsanlage im Modell arbeitet rund um die Uhr (3-Schicht-Betrieb). Arbeitsfreie Tage (Wochenende, Feiertage) werden im Simulationsablauf nicht berücksichtigt, was sich lediglich in der Durchlaufzeit der Sendungen bemerkbar macht, da die Lagerzeit an arbeitsfreien Tagen nicht eingeht. In der Praxis wird die Durchlaufzeit oft ebenso angegeben, weil nicht in Kalender-, sondern in Arbeitstagen gerechnet wird.

Die Fernfahrzeuge kommen an der Umschlagsanlage nach einer Exponentialverteilung der Ankunftsintervalle an. Über die Simulationsdauer ergibt sich daraus angenähert eine Gleichverteilung über die Tageszeit.

Die einkommenden Fernfahrzeuge werden zu jeder Tageszeit entladen und verlassen dann die GVZ wieder, die Sendungen werden an ihren Sektorenwarteplätzen zwischengelagert. Sofern am gleichen Tag noch ein Verteilfahrzeug in den betreffenden

Sektor fährt, werden die lagernden Sendungen soweit wie möglich mitgenommen. Falls kein Fahrzeug mehr ausfährt, lagern die Sendungen bis zum Beladebeginn am nächsten Tag, der auf 5.30 Uhr festgesetzt wurde. Im Modell werden zu diesem Zeitpunkt alle Fahrzeuge gleichzeitig beladen, um sicherzustellen, daß auch Sendungen berücksichtigt werden, die erst am frühen Morgen einkommen.

Sendungen, die erst später auf den Sektorenwarteplätzen zur Verfügung stehen, werden dem nächsten Fahrzeug zugeteilt, das den Sektor anfährt.

Die einkommenden Verteilfahrzeuge werden nochmals beladen, wenn ihr Eingang vor 13.00 Uhr liegt (vergl. Abschn.4.3.5.), bei späterem Eingang werden die Fahrzeuge abgestellt. Diese Fahrzeuge bilden in der Zeit von 12. 00 Uhr bis 18.00 Uhr die Kapazitätsreserve für das Sammeln von Sendungen, das im Modell nicht vorgesehen wurde.

Die befragten Speditionen betreiben ihre Umschlagsanlagen von 6.00 Uhr bis 22.00 Uhr (2-Schicht-Betrieb), wobei Fernfahrzeuge auch nachts anfahren können, aber nicht entladen werden. Die Güter gehen hauptsächlich am Vormittag per Fern-LKW oder Container von der Bahn (Huckepackverkehr) ein, werden entladen und zwischengelagert. Die Sammelgüter aus dem Ballungsraum gehen zum größten Teil zwischen 16.00 und 18.00 Uhr mit den Verteilfahrzeugen ein und werden so schnell wie möglich auf die Fernverkehrsmittel (LKW oder Bahncontainer) umgeladen, um noch am selben Tag auszugehen, oder bis zum nächsten Tag zwischengelagert.

Bis Arbeitsschluß (22.00 Uhr) werden dann die Verteilfahrzeuge mit den tagsüber eingegangenen Sendungen beladen, um am nächsten Morgen auszufahren.

In der Praxis werden demnach heute die Sendungen nicht so schnell umgeschlagen, wie im Modell, weil die nach 22.00 Uhr eingehenden Fernfahrzeuge nicht mehr abgefertigt werden

und damit die eingegangenen Sendungen zumindest nicht für die erste Verteiltour bereitstehen.

Nach Aussagen der Disponenten erzwingt eine weitere Erhöhung des Durchsatzes (bisher ca. 200 Mp pro Tag) den 3-Schicht-Betrieb,so daß dann Sendungen bei der ersten Tour am Tag mitgenommen werden können, die bis etwa 4.30 Uhr in der Anlage eingegangen sind.

Dies entspricht dann den Verhältnissen im Modell, das ja für größere Einheiten als 200 Mp pro Tag konzipiert wurde, mit dem Unterschied, daß in der Praxis die Verteilfahrzeuge über die Nacht kontinuierlich nach Sendungseingang beladen werden, während damit im Modell erst um 5.30 Uhr begonnen wird.

Da aber diese Tätigkeit zur Umschlagsanlage gehört, die im Modell als "black box" betrachtet wird, hat dieser "Arbeitsstoß" auf die Entscheidungskriterien keine Auswirkungen.

4.7.2. Fahrrouten der Fernfahrzeuge

Die Wegestrecken der Fernfahrzeuge werden entsprechend denen der Verteilfahrzeuge berechnet. Ebenso die Fahrzeiten.

Für den Eingang in den Ballungsraum sind 16 Einfahrpunkte auf dem äußersten Kreisring vorgesehen, die durch einen Zufallsgenerator gleichmäßig angesteuert werden.

Die Fernfahrzeuge fahren direkt (Luftlinie) zur Umschlagsanlage. Der Weg wird um den "Kurvenfaktor" erhöht. Dort werden sie komplett entladen.

In 65 % der Fälle fahren sie wieder an dem Punkt aus dem Ballungsraum aus, an dem sie eingefahren sind.

4.8. Schwachstellen des Modells

Die wichtigsten Vereinfachungen, die im Modell gegenüber der

Realität gemacht wurden, sollen hier noch einmal zusammengefaßt und begründet werden:

Das Einsammeln von Sendungen durch die Verteilfahrzeuge wurde nicht aufgenommen, da dies das Simulationsprogramm zu komplex hätte werden lassen. Durch das Einführen der Zeitschranke 13.00 Uhr für den spätesten Beladebeginn wurde jedoch eine Kapazitätsreserve für das Sammeln von Gütern geschaffen.

Eine Vorhersage, wie sich das Sammelgut und die Sammelrouten bei GVZ ab 500 Mp Umschlag entwickelt, scheint schwierig. Bisher werden hauptsächlich große Gutmengen pro Versender (Industrie und Handel) abgeholt. Dies unterscheidet sich grundlegend von einer Verteiltour, bei der pro Empfänger meist nur kleine Gutmengen (1 oder 2 Sendungen) anfallen.

Die befragten Speditionen liegen mit ihrem Umschlag weit unterhalb 500 Mp und scheinen den für sie "interessanten" Abholmarkt (große Gutmengen bei einem Versender) weitgehend ausgeschöpft zu haben, d.h. ein weiterer Ausbau des Sammelns zwingt die Speditionen, weniger lukrative Abholaufträge anzunehmen. Bisher wird das Abholen weitgehend als kostenloser Service betrachtet, um interessante Transportaufträge für den Fernverkehr zu erhalten. Dieser "Service" kann bei kleinen Abholmengen nicht mehr "kostenlos" durchgeführt werden.

Wie sich unter diesen Umständen der Anteil der Sammelgüter am Gesamtdurchsatz einer GVZ entwickeln wird, ist völlig offen. Es ist durchaus denkbar, daß er bei zunehmender Größe abfällt.

Auch wegen dieser Unsicherheiten scheint die Kapazitätsreserve im Modell genügend, zumal die Auswirkungen der Konzentration und die Haupteinflußfaktoren auch am reinen Verteilverkehr dargestellt werden können. (vergl. Abschnitt 4.)

Die Verwendung von Durchschnittsgewichten bei den Sendungsklassen war aus programmtechnischen Gründen notwendig. Dadurch

gehen die "Zwischengrößen" an Sendungen verloren. Dennoch ergeben die sieben Sendungsklassen eine genügend "inhomogene" Zusammensetzung des Guteingangs, wie er in der Realität vorkommt. Dies zeigen unter anderem die Extremwerte für die Anzahl der Sendungen pro Fahrzeug, die von wenigen schweren bis zu vielen leichten Sendungen reichen, d.h. die "Ausreißer" in der Beladung, wie sie den Speditionen tagtäglich zu schaffen machen, werden durch den Zufallsgenerator beim Beladen im Modell erzeugt.

Auf die Verfolgung jeder Sendung einzeln beim Durchlauf mußte verzichtet werden. Dies wirkt sich jedoch nur dahingehend aus, daß für die Durchlaufzeit der Sendungen nur ein Mittelwert und keine Verteilung angegeben werden kann.

Der Fuhrpark wird pro Simulationslauf nur aus einem Fahrzeugtyp gebildet, obwohl in der Realität verschiedene Fahrzeuge eingesetzt werden. Allerdings sind auch bei den befragten Speditionen die Fahrzeuge in einer Nutzlastklasse. Nur für den Stadtkern werden kleinere und für Sonderaufgaben (Maschinentransport etc.), die im normalen GVZ-Ablauf aber nicht vorgesehen sind, größere Fahrzeuge einzusetzen, so daß die Argumente gegen einen einheitlichen Fuhrpark stark abgeschwächt werden. (vergl. Abschn. 4.5.1.)

4.9. Überprüfung des Modells durch Kontrolläufe

Zur Überprüfung des Modells wurden mit den Daten zweier Münchener Speditionen Kontrolläufe durchgeführt, deren Ergebnisse vorgestellt werden sollen.

Bei diesen Kontrollrechnungen wurde zwischen Verteil- und Sammelgut kein Unterschied gemacht, sondern angenommen, daß der ganze Tagesdurchsatz verteilt werden müsse. Dazu wurde der letzte Beladezeitpunkt von 13.00 Uhr auf 14.30 Uhr heraufgesetzt, um die Reservekapazität für das Sammeln freizusetzen. Die Restriktionskurve für die Maximalzahl der Sendungen wurde beibehalten.

Beide Firmen bedienen eine Fläche von ca. 60 km Durchmesser.

Die Spedition München I hat einen täglichen Durchsatz von ca. 220 Mp, die sich in 120 Mp Auslieferung (Verteilen) und 100 Mp Sammeln aufteilen. Das Durchschnittsgewicht der Sendungen liegt bei 340 kp. Der "Stadtfuhrpark" umfaßt 27 Fahrzeuge, davon 18 mit 4 Mp Nutzlast. Der Durchschnitt der Nutzlast beträgt 3.5 Mp. Die Umschlagsanlage liegt in 7 km Entfernung vom Stadtzentrum.

Nach Angaben des Disponenten fahren die Fahrzeuge zwischen 2 und 3 Touren pro Tag, ihre Auslastung liegt nahe 100 %, die Fahrleistung pro Tag und Fahrzeug bei ca. 200 km.

Ähnliche Werte ergeben sich, wenn man die Ausgangsdaten im Modell verarbeitet. Bild 7 (Abschn. 4.3.5.) zeigt den Tagesgang der Fahrzeugbewegungen für München I. Wie durch den Disponenten angegeben, kommen die letzten Fahrzeuge zwischen 16.00 Uhr und 18.00 Uhr ein. Die 0,7 % bis 19.00 Uhr einkommenden Fahrzeuge sind vernachlässigbar; derart geringe "Verspätungen" kommen auch bei der Spedition vor. Auslastung der Fahrzeuge, Auslastung des Fuhrparks und Fahrzeiten zeigen die Bilder 18,19 und 20.

Die Auslastung der Fahrzeuge liegt mit 95,3 % "nahe bei 100 %", die Fahrzeuge machen durchschnittlich 2,48 Fahrten pro Tag, was im Rahmen der Angabe "2 bis 3 Fahrten" liegt. Die mittlere Strecke pro Fahrt beträgt 62,0 km, das ergibt 153,8 km pro Fahrzeug und Tag (62,0 x 2,481).

Die Spedition München II schlägt pro Tag ca. 200 Mp Sendungen um, deren Durchschnittsgewicht bei 220 - 250 kp liegt.

Die Fahrzeuge haben eine durchschnittliche Nutzlast von 5,5 Mp, die von 1,5 Mp (Innenstadt) bis 7,0 Mp variiert. Für die Verteilung im Ballungsraum werden 18 Fahrzeuge eingesetzt, zusätzlich einige Kleintransporter für kleinere Sendungen und Eilaufträge.

```
AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
====================================

AUSLASTUNGSPROFIL DER NAHFAHRZEUGE
----------------------------------------------------------------------------------------------
AUSL:     KLASSEN -     :                     AUSLASTUNGS - PROFIL                           :
<[%]:  ANZAHL : PROZENT:2%          20%         40%         60%         80%                  :
-------------------------+---------+---------+-----------+----------+----------:
                          VERKEHRSTRAEGER - NR.  1                                           :
--------------------------------------------------------------------------------------------:
< 10:       0 :     0.0 :                                                                    :
< 20:       0 :     0.0 :                                                                    :
< 30:       0 :     0.0 :                                                                    :
< 40:       0 :     0.0 :                                                                    :
< 50:       0 :     0.0 :                                                                    :
< 60:      46 :     1.8 :X                                                                   :
< 70:      52 :     2.0 :X                                                                   :
< 80:      45 :     1.8 :X                                                                   :
< 90:      50 :     2.0 :X                                                                   :
<100:    2353 :    92.4 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                    :
>100:       0 :     0.0 :                                                                    :
--------------------------------------------------------------------------------------------:
S/DU:    2546 :    95.3 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                   :
--------------------------------------------------------------------------------------------:
```

Bild 18: Auslastungsprofil der Nahfahrzeuge (Kontrollauf München I)

Bild 19: Auslastungsprofil des Fuhrparks (Kontrollauf München I)

```
 ** D I S P A L **  LAUF-NR :145  VON 00/03/31.ZEIT 19.30.24.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
====================================

AUSLASTUNGSPROFIL DES FUHRPARKES
--------------------------------------------------------------------------------------------
AUSL:    HAEUFIGKEIT    :                       AUSLASTUNGSPROFIL                          :
<[%]: ABSOLUT : PROZENT:2%          20%         40%         60%         80%                :
-------------------------+---------+---------+-----------+----------+----------:
                          VERKEHRSTRAEGER - NR.  1                                         :
------------------------------------------------------------------------------------------:
< 10:      64 :     3.3 :XX                                                                :
< 20:     135 :     5.3 :XXX                                                               :
< 30:     145 :     5.7 :XXX                                                               :
< 40:     102 :     4.0 :XX                                                                :
< 50:     156 :     6.1 :XXX                                                               :
< 60:     157 :     6.2 :XXX                                                               :
< 70:     113 :     4.4 :XX                                                                :
< 80:     162 :     6.4 :XXX                                                               :
< 90:     144 :     5.7 :XXX                                                               :
<100:    1348 :    52.9 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                                       :
>100:       0 :     0.0 :                                         NAH-FZ VERFUEGBAR:  27   :
------------------------------------------------------------------------------------------:
S/DU:    2546 :   245.1 :///////////////////////////////////////////////////////////////////:
------------------------------------------------------------------------------------------:

 *** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
 *** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 8 MINUTEN ***
 *** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; MUENCHEN I ***
GESMENGE:  220000. ANZAHL-VT   1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL 6 ZUKURV 1.2
-LAST-F.    20000. -NAH:     3500. LASTFAKTOR: 70.0 START-DOKUM   100600
AHL: 14400 END-PER: 64/999 SIM-DAUER:  547199 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.00
DIEN:   1.0    3.0    7.0  30.0 DU-GESCHW:  20.0  30.0  35.0  45.0 MAX     78
```

```
  ** D I S B A L **  LAUF-NR :145  VOM 80/03/31.ZEIT 19.30.24.

 AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
 ===================================

 VERTEILUNG DER FAHRZEITEN DER NAHFAHRZEUGE
-------------------------------------------------------------------------------
:FZEI:    HAEUFIGKEIT    :                ZEIT-VERTEILUNG
:<STD: ABSOLUT : PROZENT:2%        20%        40%        60%        80%
:-----------------------+----------+----------+----------+----------+---------
:                          VERKEHRSTRAEGER - NR.  1
:-------------------------------------------------------------------------------
:<  1:       0 :     0.0 :
:<  2:     206 :     8.1 :XXXX
:<  3:    1276 :    50.1 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
:<  4:    1056 :    41.5 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX .
:<  5:       8 :      .3 :X
:<  6:       0 :     0.0 :
:<  7:       0 :     0.0 :
:<  8:       0 :     0.0 :
:<  9:       0 :     0.0 :
:< 10:       0 :     0.0 :
:> 11:       0 :     0.0 :
:-------------------------------------------------------------------------------
:S/DU:                  : NFZ-AUS: FAHRZEIT:  MITTEL : STRECKE :  MITTEL
:-------------------------------------------------------------------------------
:                       :    2546 :   7197.9:      2.8: 157946.1:      62.0
:-------------------------------------------------------------------------------
```

Bild 20: Verteilung der Fahrzeiten der Verteilfahrzeuge (Kontrollauf München I)

```
   *** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
   *** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 8 MINUTEN ***
   *** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; MUENCHEN I ***
TAGESMENGE:  220000. ANZAHL-VT  1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL 6 ZUKURV
NU-LAST-F.   20000. -NAH:   3500. LASTFAKTOR: 70.0 START-DOKUM  100000
PZAHL: 14400 END-PER:  047999 SIM-DAUER:  547199 EINGAENGE: 10 AUSPRO: 05
RADIEN:   1.0   3.0   7.0  30.0 DU-GESCHW:  20.0  30.0  35.0  45.0 MAX
```

Als Tagesleistung der Fahrzeuge werden ca. 10 Mp beförderte Güter und eine Fahrleistung von 40 - 160 km angegeben, der Durchschnitt soll bei ca. 100 km liegen. Es werden 12 - 20 Sendungen pro Fahrt verteilt und 6 - 10 eingesammelt; der Eingang der meisten Fahrzeuge liegt vor 19.00 Uhr.

Die Kontrollrechnung wurde mit 235 kp Sendungsdurchschnittsgewicht und 21 Fahrzeugen à 5,5 Mp Nutzlast durchgeführt. Die 3 "überzähligen" Fahrzeuge ersetzen im Modell die Kleintransporter.

Die Bilder 9, 21 - 23 zeigen die Simulationsergebnisse. Die "Arbeitszeit" wird eingehalten, die Tagesleistung beträgt

$$5{,}5 \text{ Mp} \times 0{,}886 \times 1{,}977 = 9{,}63 \text{ Mp},$$

die Fahrzeuge sind nahezu voll ausgelastet, wie dies ebenfalls angegeben wurde. Die Fahrleistung weicht mit 148,5 km (= 1,977 x 75,1) von 100 angegebenen km wie bei München I stark ab.

Die Abweichungen in den Tagesfahrleistungen der Fahrzeuge dürften in der Hauptsache darin begründet sein, daß die verwendete Fahrroutine 1 nicht den Fahrrouten entspricht, die die Fahrer der Verteilfahrzeuge wählen.

Weitere Gründe dafür können sein:

- Die Verteilung des Gutaufkommens über den Ballungsraum ist verschieden von der im Modell verwendeten.
- Die Zahl der Sendungen pro Empfänger liegt über oder unter der Richtzahl im Modell (1,23).
- Die Spedition München I dient mehreren Herstellern von Lebensmitteln und Getränken als Auslieferungslager. Häufig werden an einzelne Kunden ganze Ladungen ausgeliefert, was im Modell nicht vorgesehen ist.

```
** D I S B A L **  LAUF-NR :165  VOM 80/04/23.ZEIT 19.21.00.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
====================================

AUSLASTUNGSPROFIL DER NAHFAHRZEUGE
--------------------------------------------------------------------------------
:AUSL:    KLASSEN -        :                  AUSLASTUNGS - PROFIL
:<[%]:  ANZAHL : PROZENT:2%          20%          40%          60%          80%
:--------------------------+----------+----------+----------+----------+--------
:                            VERKEHRSTRAEGER - NR.  1
:-------------------------------------------------------------------------------
:< 10:        0 :     0.0 :
:< 20:        0 :     0.0 :
:< 30:       39 :     2.5 :X
:< 40:       50 :     3.2 :XX
:< 50:       52 :     3.3 :XX
:< 60:       74 :     4.7 :XX
:< 70:       44 :     2.8 :X
:< 80:       52 :     3.3 :XX
:< 90:       55 :     3.5 :XX
:<100:     1212 :    76.8 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
:>100:        0 :     0.0 :
:-------------------------------------------------------------------------------
:S/DU:     1578 :    85.6 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
:-------------------------------------------------------------------------------
```

Bild 21: Auslastungsprofil der Nahfahrzeuge (Kontrollauf MünchenII)

Bild 22: Auslastungsprofil des Fuhrparks (Kontrollauf München II)

```
** D I S B A L **  LAUF-NR :165  VOM 80/04/23.ZEIT 19.21.00.  SEITE  18

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
====================================

AUSLASTUNGSPROFIL DES FUHRPARKES
--------------------------------------------------------------------------------
:AUSL:    HAEUFIGKEIT      :                 AUSLASTUNGSPROFIL
:<[%]: ABSOLUT : PROZENT:2%          20%          40%          60%          80%
:--------------------------+----------+----------+----------+----------+--------
:                            VERKEHRSTRAEGER - NR.  1
:-------------------------------------------------------------------------------
:< 10:       76 :     4.8 :XX
:< 20:       76 :     4.8 :XX
:< 30:       77 :     4.9 :XX
:< 40:       78 :     4.9 :XX
:< 50:       88 :     5.6 :XXX
:< 60:       90 :     5.7 :XXX
:< 70:       95 :     6.0 :XXX
:< 80:       95 :     6.0 :XXX
:< 90:       97 :     6.1 :XXX
:<100:      806 :    51.1 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
:>100:        0 :     0.0 :                             NAH-FZ VERFUEGBAR:  21
:-------------------------------------------------------------------------------
:S/DU:     1578 :  [illegible] :////////////////////////////////////////////////////
:-------------------------------------------------------------------------------

   *** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
   *** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 8 MINUTEN ***
   *** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; MUENCHEN II  ***
TAGESMENGE:  200000. ANZAHL-VT  1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL 6 ZUKURV 1.
NU-LAST-F.   20000. -NAH:    5500. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM  100600
PZAHL: 14400 END-PER:  647999 SIM-DAUER:  547199 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.0
RADIEN:   1.0   3.0   7.0  30.0 DU-GESCHW:  20.0  30.0  35.0  45.0 MAX    7
```

```
 ** D I S H A L **  LAUF-NR :105  VOM 80/04/23.ZEIT 19.21.00.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
=====================================

VERTEILUNG DER FAHRZEITEN DER NAHFAHRZEUGE
--------------------------------------------------------------------------------------------------------
FZEI:       HAEUFIGKEIT       .                        ZEIT-VERTEILUNG                                  :
STD: ABSOLUT : PROZENT:0%           20%           40%          60%          80%                         :
------------------------+-------------+-------------+-------------+-------------+---------------------:
                             VERKEHRSTRAEGER - NR.  1                                                   :
------------------------------------------------------------------------------------------------------:
   1:         0  :     0.0  :                                                                          :
   2:        12  :      .   :X                                                                         :
   3:        65  :     4.1  :XX                                                                        :
   4:       256  :    16.2  :XXXXXXXX                                                                  :
   5:       717  :      .   :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                                                    :
   6:       515  :    32.6  :XXXXXXXXXXXXXXXXXX                                                        :
   7:        12  :      .   :X                                                                         :
   8:         1  :      .1  :                                                                          :
   9:           :      .   :                                                                          :
  10:           :      .   :                                                                          :
  11:         0  :     0.0  :                                                                          :
------------------------------------------------------------------------------------------------------:
 /DU:                    :  NEZ-AUS: FAHRZEIT:   MITTEL : STRECKE :   MITTEL                          :
------------------------------------------------------------------------------------------------------:
                         :     1570  :   7211.4:         4.6: 110431.5:          75.1                 :
------------------------------------------------------------------------------------------------------:
```

Bild 23: Verteilung der Fahrzeiten der Verteilfahrzeuge (Kontollauf München II)

```
 *** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
 *** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 3 MINUTEN ***
 *** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; MUENCHEN II   ***
GESMENGE:  200000. ANZAHL-VT  1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 30 MINZAHL 6 ZUKURV 1.2
-LAST-F.   20000. -NAH:   5500. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM  100000
AHL: 14400 END-PER:  647099 SIM-DAUER:  547199 EINGAENGE: 10 AUSPRO: 65.00
DIEN:   1.0   3.0   7.0  30.0 DU-GESCHW:  20.0  30.0  35.0  45.0 MAX    73
```

Insgesamt gesehen, kann der Fahrleistung der Verteilfahrzeuge als Effektivitätskriterium verschiedener Alternativen, absolut gesehen, kein großer Wert zugebilligt werden, denn beide Speditionen haben nur 10 % Abweichung im Gesamtdurchsatz (220 Mp und 200 Mp), aber 100 % Abweichung (200 und 100 km) in der Angabe der Fahrleistung der Verteilfahrzeuge. Die Berechnungen mit dem Modell liegen jeweils dazwischen (153,8 und 148,5 km).

Da die anderen Werte (Verteilleistung, Auslastung und Umlauffaktor) übereinstimmen und die vorgegebene "Arbeitszeit pro Tag" eingehalten werden, kann von einer genügenden Realitätsnähe des Modells ausgegangen werden.

III. Modelläufe

Mit dem Programm DISBAL wurden ca. 200 Simulationsläufe durchgeführt, deren Ergebnisse in diesem Kapitel vorgestellt werden.

Zunächst wurden Läufe durchgeführt, die zeigen sollten, mit welchen Werten für Simulationsdauer und Tagesdurchsatz sich die Ergebnisse stabilisieren.

Die folgenden Läufe dienten der Ermittlung der Einflüsse durch verschiedene Umweltkonstellationen und der Modellvarianten.

Schließlich wurden die "Minimalfuhrparks" jeder GVZ-Klasse ermittelt und die Kosten der Güterverteilung im Ballungsraum (10 000 Mp) für jede Klasse hochgerechnet. Die Ergebnistabellen der einzelnen Läufe befinden sich im Anhang.

5. Daten des "Standardlaufs"

Die "Standarddaten" für die Läufe zeigen die Tabellen 10 (= Daten des Ballungsraumes), 11 (= Daten der Sendungsklassen), 15 (= Steuerdaten und Parameter) und 16 (= Daten der Verkehrsträger).

In den Tabellen 15 und 16 sind auch Daten enthalten, die von Lauf zu Lauf variieren können:

- Anzahl der Verkehrsträger (Tab.15)
  Je nach Tagesdurchsatz (≙Größenklasse d. GVZ) wurde mit 1,5 oder 10 Verkehrsträgern simuliert. Dadurch werden in den kleineren Klassen die Einflüsse des Zufalls ausgeschlossen, weil die Durchschnittsergebnisse aller Verkehrsträger als Entscheidungskriterien herangezogen werden. Je nach Zahl der Verkehrsträger ändert sich der Anteil des einzelnen an der Gesamttagesmenge des Ballungsraumes (Gewichtanteil(%), Tab. 16.).
- Tagesmenge im Ballungsraum :
  Zusammen mit dem Gewichtsanteil pro Verkehrsträger an

der Tagesmenge wird die Größenklasse der einzelnen GVZ bestimmt, die bei der Simulation auftreten (Alternativen). (Tab.15)

- Nutzlast der Nahfahrzeuge:
  Bei den Standardläufen wurden entweder 4 000 oder 5 000 kp verwendet (jeweils angegeben) (Tab. 15).
- Zeiten
  Je nach Tagesmenge und Zahl der Verkehrsträger werden die Startperiode der Dokumentation (vorher "Einlauf" des Systems) und die Endperiode verändert, da bei großen Mengen sich die Ergebnisse schon bei kürzerer Simulationsdauer stabilisieren. (Tab. 15)
- Startwerte des Zufallsgenerators
  Hier wurden als Startzahlen 1111, 1397, 4711 und 5237 verwendet. (Tab.15)
- Anzahl Nahfahrzeuge (≙ Größe des Fuhrparks)
  Dieser Wert ist jeweils von der GVZ-Klasse und der Nutzlast der Verteilfahrzeuge abhängig. (Tab. 16)

5.1. Stabilität der Simulationsergebnisse

Ausschlaggebende Elemente des Modells wurden mit Hilfe von Zufallsverteilungen und -generatoren nachgebildet:

- Eingangsmengen pro Tag (Exponentialverteilung)
- Sendungsstruktur (vorgegebene Verteilung)
- Sendungssteuerung in die Sektoren (vorgegebene Verteilung in die Kreisringe, mit Gleichverteilung auf die Sektoren des Ringes)
- Standorte der Empfänger (Gleichverteilung innerhalb der Sektoren)
- Anzahl Sendungen pro Empfänger (vorgegebene Verteilung)

Um genügend stabile Ergebnisse zu erhalten, muß die Anzahl der Stichproben bei den Zufallsexperimenten genügend groß sein, d.h. die Simulationsdauer muß lange genug gewählt werden.

Für 500 Mp Tagesumschlag wurden 24 Läufe mit folgenden Daten

durchgeführt, um die Stabilität der Ergebnisse zu überprüfen:

Zahl der Verkehrsträger :	1
Nutzlast der Verteilfahrzeuge :	5 000 kp
Anzahl der Nahfahrzeuge :	80 (≙80 %-Fuhrpark)

Variiert wurden die Simulationsdauer (5, 10, 15, 20, 30 und 40 Tage) und die Startzahl des Zufallsgenerator (1111, 1397, 4711, 5237). Durch verschiedene Startzahlen werden verschiedene Zufallszahlenfolgen erzeugt, was im Modell einen anderen Ablauf ergibt, da sich die eingangs genannten Modellelemente in ihren Einzel-, aber nicht in den Durchschnittswerten ändern.

Tabelle A1 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Läufe, einige Ergebnisse (Entscheidungskriterien) sind in Bild 24 dargestellt. Dabei zeigt sich, daß ab einer Simulationsdauer von 15 Tagen die Werte nur noch in engen Grenzen variieren.

Um einen besseren Überblick über die Relationen zu erhalten, wurden in Bild 25 die Einzelergebnisse der Simulationen auf den Mittelwert aller Läufe normiert dargestellt. Danach ergeben sich ab 15 Tagen Simulationsdauer für

- die Sendungslaufzeit maximal	5 %
- die Verteilstrecke pro Verteilmenge maximal	2,5 %
- die Verteilzeit pro Verteilmenge maximal	2 %

Abweichung vom Mittelwert aller Simulationen, für

- das Eingangsgewicht pro Tag maximal	8 %

vom Sollgewicht.

Die Werte für Verteilstrecke und -zeit, bezogen auf die Verteilmenge, erwiesen sich damit als sehr stabil, auch bei schwankendem Eingangsgewicht. Dessen Schwankungen sind in dem relativ kleinen Stichprobenumfang der eingehenden Fernfahrzeuge und der sehr weit streuenden Exponentialverteilung ihrer Zwischenankunftszeit begründet.

Die Abweichungen der Durchlaufzeit der Sendungen durch das System sind mit 5 % ebenfalls groß. Sie stellt einen sehr empfindlichen Wert dar und wird von mehreren Größen beeinflußt:

- Schon geringe Schwankungen der täglichen Verteilmenge können unterschiedliche Laufzeiten dadurch hervorrufen, daß entweder nicht alle Sendungen verteilt werden können (bei großen Mengen) oder die Minimalzahlen für das Verteilen öfter nicht überschritten werden (bei kleinen Mengen). In beiden Fällen verlängern sich die Zwischenlagerzeiten (Bild 26).
- Die Tageszeit des Eingangs der Fernfahrzeuge kann die Durchlaufzeit verlängern, wenn zufällig besonders viele Eingänge zwischen den späten Vormittag und den frühen Nachmittag fallen. Die dann eingehenden Sendungen können erst am nächsten Tag verteilt werden.
- Die Größe des Fuhrparks verlängert die Durchlaufzeit dann, wenn er für die Verteilmenge knapp bemessen ist und die Verteilmenge auch nur geringfügig steigt. Schon bei Überlastung des Fuhrparks um wenige Prozent steigt die Durchlaufzeit exponentiell an.

Die Auslastung der Fahrzeuge variiert ab 15 Tagen Simulationsdauer nur noch im Bereich von 89,3 % bis 91,3 %, die Spannweite beträgt also 2,2 %, bezogen auf den Mittelwert der beiden Extremwerte, und ist damit ebenfalls sehr stabil. (Bild 24)

Die Schwankungen des Eingangsgewichts pro Tag als Eingangsgröße des Modells bestimmen die Menge der zu verteilenden Sendungen pro Tag. Deren Größe beeinflußt die Werte der Entscheidungsvariablen.

In Bild 26 sind Ergebnisse der Simulationen über der Verteilleistung (≙ Verteilmenge pro Tag) aufgetragen.

Die Fahrzeit und -strecke der Fahrzeuge (Durchschnitt) pro Fahrt zeigt mit zunehmender Verteilmenge leicht fallende Tendenz. Dies hängt mit der größeren Zahl der Lieferpunkte pro Verteilfläche zusammen, die bei großen Mengen größer ist und die dann enger beieinander liegen.

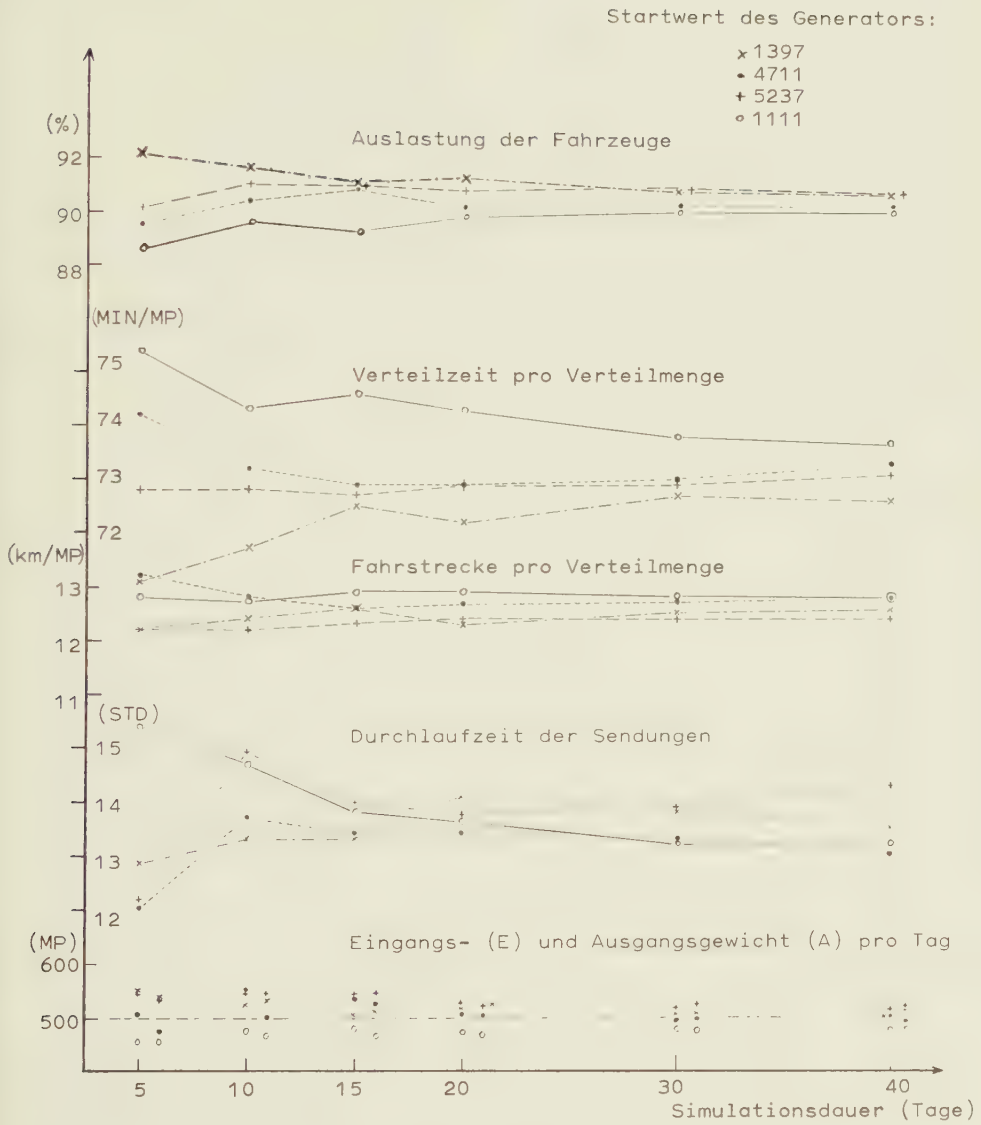


Bild 24: Simulationsergebnisse in Abhängigkeit von Simulationsdauer und Startwert des Zufallsgenerators

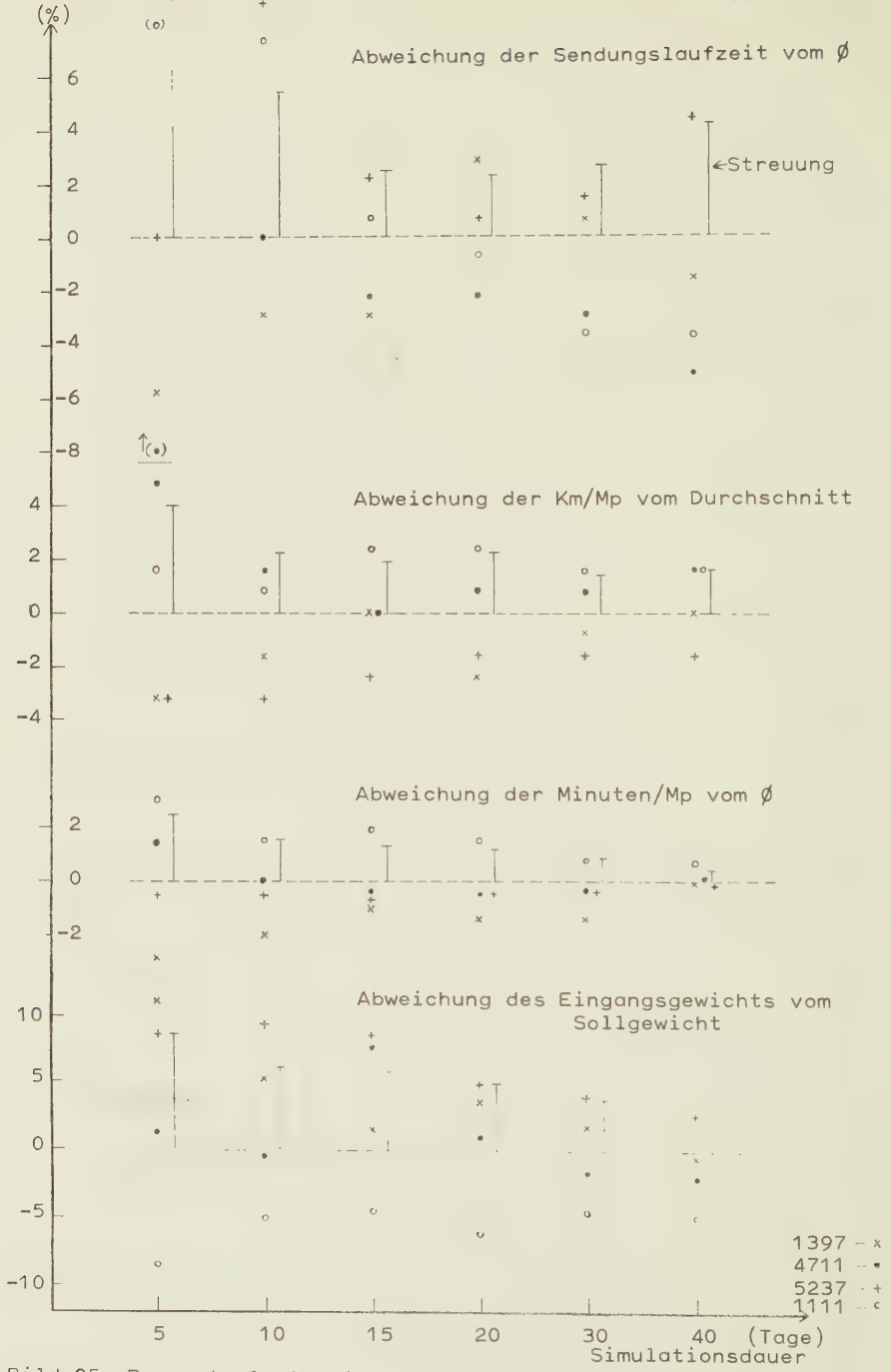


Bild 25: Prozentuale Abweichung der Einzelergebnisse der Simulationen vom Mittelwert aller Simulationen und Prozentsatz der Streuung der Simulationen gleicher Dauer bezogen auf den Mittelwert aller Simulationen.

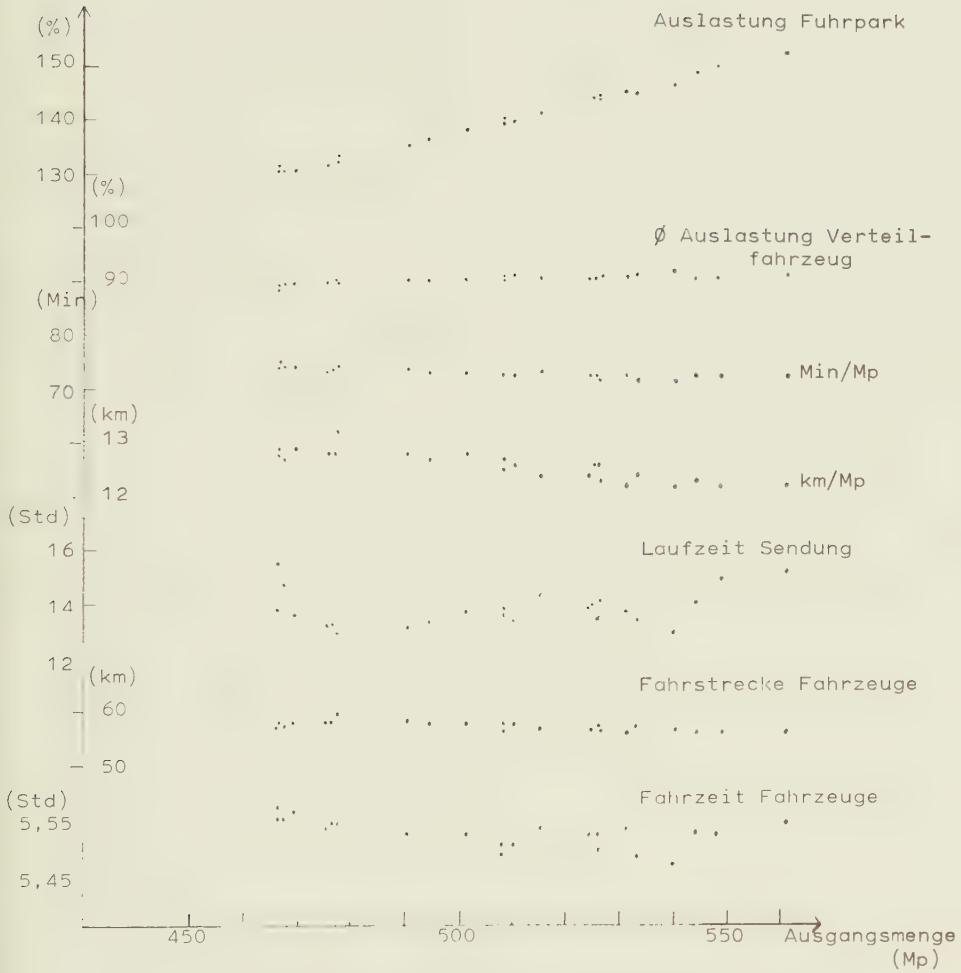


Bild 26: Simulationsergebnisse in Abhängigkeit von der Verteilmenge pro Tag.

Die Durchlaufzeit der Sendungen steigt mit zunehmender Verteilleistung an. Die Gründe hierfür wurden bereits genannt.

Fahrzeit und -strecke, bezogen auf die Verteilleistung (Min/Mp bzw. km/Mp), fallen wie ihre absoluten Werte leicht mit zunehmender Verteilmenge ab. Dabei ist der Abfall der Zeit noch um einiges schwächer als der der Strecke.

Die Auslastung der Fahrzeuge bleibt in engen Grenzen. Tendenziell ist sie bei kleineren Verteilmengen etwas niedriger als bei größeren.

Dagegen steigt die Auslastung des Fuhrparks (≙ Umlauffaktor der Fahrzeuge) mit der Verteilmenge fast linear an. Über die Erhöhung des Umlauffaktors gleicht das Modell in erster Linie die Verteilleistung den gestiegenen Anforderungen an. Deshalb kann er auch über nur geringe Schwankungen der Verteilmenge nicht konstant bleiben.

In Tabelle 20 sind die Spannbreiten der Schwankungen der einzelnen Werte aufgeführt jeweils für alle 24 Läufe und für diejenigen die mit ihrer Verteilleistung im Bereich von ±5 % vom Sollwert lagen. Dies waren 12 Läufe. Dabei zeigt sich, daß bei maximalen Abweichungen der Verteilmenge pro Tag von 5 % vom Sollwert die Werte der Entscheidungskriterien genügend stabil und repräsentativ angesehen werden können.

Eine Ausnahme hiervon bildet lediglich die Laufzeit der Sendungen auf deren Problematik schon mehrfach hingewiesen wurde.

Für die weiteren Simulationen konnten aus diesen Auswertungen Schlüsse gezogen werden:

- Eine Simulationsdauer von 15 Tagen bei 500 Mp Tagesdurchsatz und bei Anwendung der Sendungsstruktur SWS II bedeutet die Verteilung von ca. 53.000 Sendungen bei ca. 1700 Fahrten. Bei Anwendung anderer Tagesleistungen und Strukturen sollten diese Werte durch entsprechende Wahl von Simulationsdauer

24 Läufe	Minimum		Mittel o. SOLL	Streuung	Maximum	
Ausgangsmenge (Mp/Tag) Ist	466,0	-8,2%	507,8	29,1	561,1	+10,5%
Abweichung vom Soll		-6,8%	500,0	-		+12,2%
Ø Fahrzeit pro Fahrt (Std)	5,46	-1,1%	5,52	0,027	5,57	+0,9%
Ø Fahrstrecke pro Fahrt (km)	55,6	-2,4%	56,94	0,896	59,2	+4,0%
Laufzeit der Sendungen (Std)	12,1	-12,1%	13,77	0,755	15,5	+12,6%
Strecke pro Verteilmenge (km/Mp)	12,2	-3,0%	12,58	0,275	12,9	+2,6%
Zeit pro Verteilmenge (Min/Mp)	71,1	-2,8%	73,15	0,945	75,4	+3,1%
Auslastung NFZ (%)	88,6	-2,1%	90,55	0,820	92,1	+1,0%
Auslastung Fuhrpark (%)	130,4	-7,0%	140,20	6,950	153,1	+9,2%
12 Läufe, Tagesleistung im Bereich von ± 5 % vom Soll (475 - 525 Mp)						
Ausgangsmenge (Mp/Tag)	475,1	-5,1%	500,53	17,780	524,6	+4,8%
Ø Fahrzeit pro Fahrt (Std)	5,48	-0,6%	5,51	0,020	5,54	+0,5%
Ø Fahrstrecke pro Fahrt (km)	56,1	-2,1%	57,30	0,898	59,2	+3,3%
Laufzeit d. Sendungen (Std)	12,1	-9,9%	13,43	0,552	14,3	+6,5%
Strecke pro Verteilmenge (km/Mp)	12,4	-2,2%	12,68	0,234	13,2	+4,1%
Zeit pro Verteilmenge (Min/Mp)	72,5	-0,9%	73,18	0,493	74,2	+1,4%
Auslastung NFZ (%)	89,5	-1,0%	90,43	0,460	91,1	+0,7%
Auslastung Fuhrpark (%)	132,3	-4,4%	138,41	4,318	144,5	+4,4%

Tabelle 20: Minima, Maxima, Mittelwerte, Streuung und Prozentabweichungen vom Mittelwert der Simulationsergebnisse von Läufen zur Untersuchung der Stabilität der Ergebnisse (Teil I: alle Läufe, Teil II: 12 Läufe mit Abweichungen der Verteilleistung von ±5 % vom Soll (aus Tab. A1))

und Zahl der Verkehrsträger ebenfalls erreicht werden, um die Soll-Leistung mit großer Sicherheit in guter Annäherung (±5 %) zu erreichen.

- Die Verteilleistung von Läufen, deren Ergebnisse zu Auswertungen herangezogen werden, müssen im Bereich ±5 % von der Soll-Leistung liegen, damit sie als repräsentativ für die Größenklasse gelten können. (Dies gilt auch für Läufe kurzer Simulationsdauer).
- Bei der Durchlaufzeit der Sendungen muß immer mit einer Streubreite von ±1Stunde ausgegangen werden, da sie von verschiedenen Größen abhöngig ist, deren Einfluß sich nur ausschalten ließe, wenn bei allen Simulationen mit genau denselben Sendungen in gleichbleibender Reihenfolge und gleichen Zeitabständen ihres Eingangs gerechnet würde. Dies ist im Modell nicht vorgesehen, da derlei "Idealzustände" auch in der Praxis nicht vorkommen. Eine Abweichung der Durchlaufzeit der Sendungen von 1 - 2 Stunden spielt in der Praxis meist keine Rolle und führt auch in dieser Arbeit nicht zur Abwertung von Alternativen.
- Die Simulationsläufe mit den Startwerten 1397 und 4711 brachten die beste Annäherung. Sie wurden weiterhin hauptsächlich angewendet.

5.2. Einflußgrößen der Umwelt

Auch wenn die "Umwelt" zunächst durch den Betreiber einer Güterverteilzentrale nicht beeinflußbar scheint, ist eine Untersuchung ihrer Einflüsse auf die Stückgutverteilung dennoch von Nutzen. Durch die gewonnenen Erkenntnisse kann das zukünftige Verhalten "am Markt" bestimmt werden.

Untersucht wurden die Einflüsse

- der Fläche des Ballungsraumes:
  Der Betreiber einer GVZ erhält daraus Aufschluß, ob er seine Leistungen nur im gesamten Ballungsraum (Grenze: 50 km Umkreis vom Standort wegen der Nah-

verkehrskonzession) anbieten soll bzw. welchen Aufwand die Ausbreitung in ein größeres Gebiet erfordert.

- der Verkehrsverhältnisse:
  Es können Rückschlüsse gezogen werden, ob es sich auszahlt, die Verteilfahrten in verkehrsärmere Zeiten zu legen und wie sich verwinkelte Straßenführungen auf die Verteilleistung auswirken.
- verschiedene Stückgutstrukturen:
  Daraus läßt sich erkennen, welche Sendungsarten und -größen bei der Verteilung welchen Aufwand erfordern. Die Neuakquisition von Kunden kann von der Art ihrer Sendungen her gesteuert werden, um geringstmögliche Kosten zu erreichen.
- der Zahl der Sendungen pro Entladepunkt:
  Aus dem Verhalten der Ergebnisse bei Änderung dieses Modellparameters kann geschlossen werden, ob es sich lohnt, zu versuchen, den Anteil am gesamten Gutaufkommen schon bekannter Kunden z.B. durch Maßnahmen der Preispolitik zu erhöhen.

Die Ergebnisse der vorgestellten Simulationen und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse für Verhaltensweisen orientieren sich lediglich am Aufwand (Fahrzeuge, Fahrleistungen, Zeit, etc.), den die einzelnen Veränderungen hervorrufen, nicht an ihrem Nutzen. So ist durchaus denkbar, daß Maßnahmen, die den größten Aufwand erfordern, auch den größten Nutzen bringen.

Die Ermittlung der Nutzenseite hätte den Rahmen dieser Arbeit bei weitem gesprengt.

5.2.1. Der Einfluß der Fläche des Ballungsraumes:

Die Simulationen (Tab. A2) wurden mit folgenden Daten durchgeführt:

- Anzahl Verkehrsträger: 1
- Nutzlast Verteilfahrzeuge: 4000 kp
- Anzahl Verteilfahrzeuge: 81 ≙ 65 %-Fuhrpark
  88 ≙ 70 %-Fuhrpark

- Tagesdurchsatz 500 Mp

Der Radius des Ballungsraumes wurde variiert:

Radius	Fläche
15 km	706,84 qkm
20 km	1 256,60 qkm
25 km	1 963,44 qkm
30 km	2 827,35 qkm
35 km	3 848,34 qkm

Die Sektoreneinteilung wurde beibehalten, ebenso die Steuerung der Sendungen in die Sektoren.

Bild 27 zeigt die Ergebnisse, dargestellt in Abhängigkeit vom Radius des Ballungsraums.

Wie zu erwarten war, steigen Fahrstrecke pro Route und gefahrene Strecke, bezogen auf die Verteilmenge (km/Mp), mit zunehmendem Radius stark an.

Da jedoch gleichzeitig die Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge steigt (im Umland wird schneller gefahren als in der Stadt), wirken sich die zusätzlich gefahrenen Kilometer in der Zeit pro Fahrt nur abgeschwächt aus:

Radius 15 km : 35,8 km/Fahrt - 4,41 Std./Fahrt
Radius 35 km : 71,9 km/Fahrt - 5,18 Std./Fahrt

Während die Strecke pro Fahrt um 101 % steigt, nimmt die Fahrzeit lediglich um 17,5 % zu. Dies liegt auch an dem hohen Anteil der Standzeiten bei den Empfängern an der gesamten Fahrzeit.

Für den Ballungsraum mit 35 km Radius mußte der Fuhrpark von 81 (≙ 65 %) auf 88 (≙ 70 %) Fahrzeuge erhöht werden, da bei der kleineren Größe zahlreiche Verteilfahrzeugeingange erst nach 20.00 Uhr lagen, d.h. die Vorgaben über die Arbeitszeit konnten nicht eingehalten werden. Zudem stieg die Durchlauf-

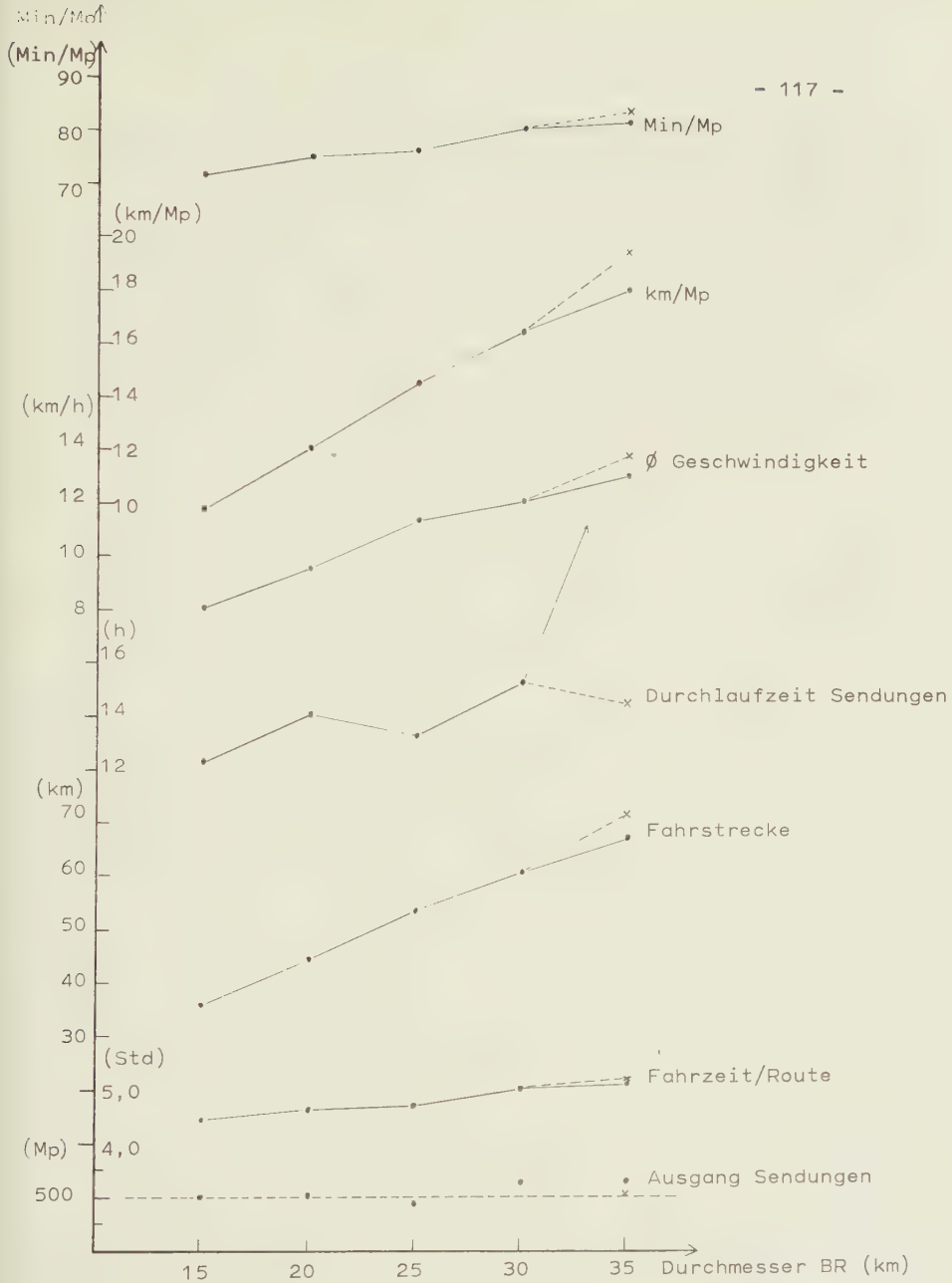


Bild 27: Einfluß des Durchmessers des Ballungsraumes auf Entscheidungskriterien.

zeit der Sendungen auf 25,0 Stunden an - ein sicheres Zeichen für die Überlastung des Fuhrparks an einem Großteil der Simulationstage.

Diese Ergebnisse legen den Schluß nahe, bei der geographischen Ausweitung der Verteilaktivitäten mit Vorsicht vorzugehen, da ein allzu großer Zuwachs der Verteilfläche eine Vergrößerung des Fuhrparks nach sich zieht. Zudem steigt in erheblichem Umfang die Kilometerleistung der Verteilfahrzeuge. Dies schlägt sich in einer Steigerung der variablen Kosten für

- Kraft- und Betriebsstoffe
- Wartung, Reparatur
- Reifen etc.

nieder.

Zudem läßt die Flexibilität nach, da bei Vergrößerung des Gebietes ein Fuhrpark schneller an seine Leistungsgrenzen stößt.

Der Sprung von 81 Fahrzeugen auf 88 ist bei 30 km Radius fällig. In diesem Bereich liegen die Grenzen des Verteil- und Sammelgebietes der beiden angeführten Münchner Speditionen. Anscheinend liegt auch in der Realität bei diesem Radius eine Schwelle, die ohne gravierende Mehrkosten nicht überschritten werden kann.

5.2.2. Der Einfluß der Geschwindigkeit im Ballungsraum

Die Simulationen (Tab. A3) wurden mit den Standarddaten durchgeführt. Die Tagesmenge betrug 500 Mp, Fuhrparkgröße: 81 Verteilfahrzeuge (65 %) à 400 kp Nutzlast.

Die Geschwindigkeit in den Sektoren wurde um 10 % und 20 % gegenüber den Standarddaten erhöht (vergl. Tab. 10).

Bild 27 zeigt die Ergebnisse. Für 20 % Geschwindigkeitszuschlag mußten vier Läufe durchgeführt werden, da die Ausgangsmengen der drei ersten zu sehr streute. Die Ergebnisse dieser Läufe wurden ebenfalls mit aufgenommen.

Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Fahrzeuge (gesamte Verteilzeit : gesamte Fahrleistung) steigt zwar tendenziell mit zunehmender Geschwindigkeit in den Sektoren an, liegt aber dennoch bei "+10 %" - unter derjenigen bei "+0 %" - Geschwindigkeitszuschlag. Ebenso liegt die Geschwindigkeit bei einem der "+20 %-Läufe" mit besonders hoher Verteilmenge (+13,8 % vom Soll) unter der von "+0 %".

Ganz ähnlich verhält sich die durchschnittliche Fahrzeit pro Fahrt. Eindeutig sinkende Tendenz dagegen hat der Wert der Verteilzeit pro verteilte Gutmenge (Min/Mp), jedoch bleibt die Zeiteinsparung in bescheidenem Rahmen. Die 20 % höhere Geschwindigkeit bringt gerade 1,0 Minuten oder 1,3 % bei den verglichenen Läufen, bezieht man den Lauf mit der höchsten Verteilleistung hinzu, ergeben sich 3,3 Minuten oder 4,3 %. Diese Verbesserung beruht allerdings auf dem wesentlich höheren Divisor "Verteilleistung".

Insgesamt betrachtet, beschleunigen zwar höhere Geschwindigkeiten im Ballungsraum die Gutverteilung, jedoch können auch spürbare Geschwindigkeitserhöhungen von anderen Einflußfaktoren in ihren Auswirkungen übertroffen werden. Somit kann der Geschwindigkeit im Ballungsraum kein großer Stellenwert als Einflußfaktor auf die Leistung des Systems zugebilligt werden.

Für die Praxis bedeutet dies, daß es sich i.a. nicht lohnt, die Fahrten der Verteilfahrzeuge zeitlich auf die Verkehrsverhältnisse abzustimmen. Auf sie braucht lediglich bei extremen Stauzeiten und -strecken Rücksicht benommen werden.

5.2.3. Der Einfluß verschiedener Gutstrukturen

Die Simulationen wurden mit den Standarddaten durchgeführt (Tabelle A4 und Tabelle A , 500 Mp, Läufe 14 - 17). Variiert wurden die Sendungsstruktur und die Größe des Fuhrparks (5000 kp Nutzlast).

Zusätzlich zu den Gutstrukturen SWS I (198,4 kp Ø Gewicht)

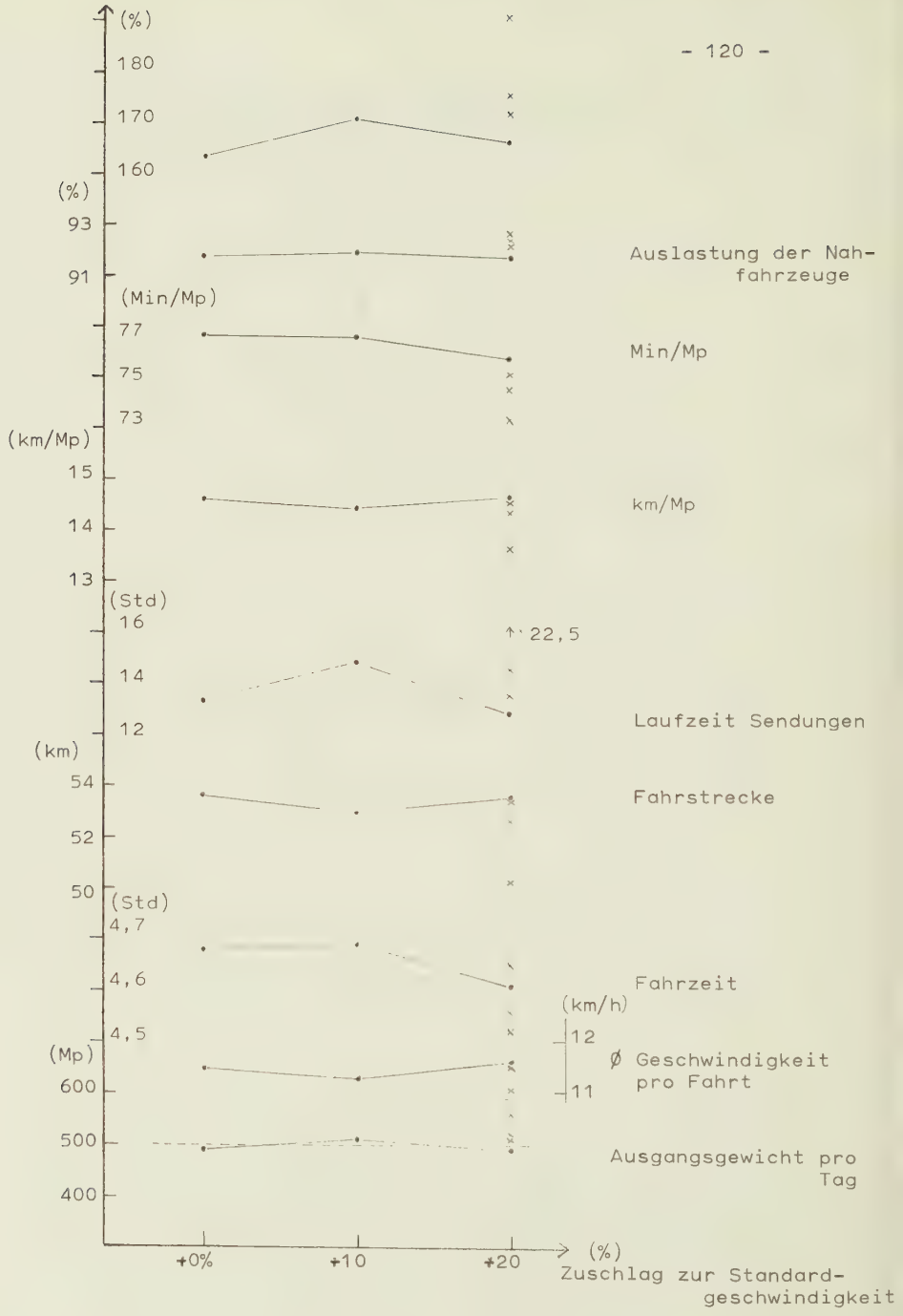


Bild 28: Einfluß der Geschwindigkeit im Ballungsraum auf Entscheidungskriterien.

und SWS II (142,4 kp Ø Gewicht) (Tabelle 12, Abschnitt 4.3.3.) wurde eine neue, 5-klassige Struktur verwendet (HAN I):

Klasse	Ø Gewicht (kp)	Anteil an der Anzahl (Vorgabe in %)	Gewicht x Anteil
1	15,0	42	630
2	31,0	19	589
3	60,0	29	1 740
4	157,0	6	942
5	864,0	4	3 456
Summe/Ø	73,57	100	7 357

Durch den großen Anteil der Klasse 1 wird das Durchschnittsgewicht auf 73,6 kp abgesenkt.

Ähnliche Strukturen sind zu erwarten, wenn ein Spediteur einen Teil seiner Kapazitäten durch Verteilen von Versandhaus- oder Postpaketen belegt oder auch Auslieferfahrten für Kaufhäuser durchführt.

Bild 29 zeigt Auszüge aus den Simulationsergebnissen. Als "Minimalfuhrparks" wurden für die drei Strukturen ermittelt:

SWS I : 70 Verteilfahrzeuge ≙ 70 % -Fuhrpark
SWS II : 80 Verteilfahrzeuge ≙ 80 % -Fuhrpark
HAN I : 150 Verteilfahrzeuge ≙ 150 % -Fuhrpark

Eine geringere Anzahl von Fahrzeugen führt jeweils zu einem starken Anstieg der Durchlaufzeiten. Auffällig ist der starke Anstieg der Fuhrparkgröße mit fallendem Durchschnittsgewicht der Sendungen. Er liegt darin begründet, daß bei 73,6 kp Durchschnittsgewicht (HAN I) ca. 6 800 Sendungen verteilt werden müssen, um 500 Mp Tagesdurchsatz zu erreichen, gegenüber 2 520 bei 198,4 kp (SWS I). Die Steigerung beträgt 170 %, wogegen der Fuhrpark nur um 114 % vergrößert werden muß (150 : 70).

In diesem Unterschied des Anstiegs spiegelt sich die unter-

schiedliche Fahrstrecke pro Sendung wieder

- bei HAN I 1,31 km
- bei SWS II 1,79 km
- bei SWS I 2,36 km

Durch die kürzere Fahrstrecke wird die Lieferleistung pro Verteilstunde erhöht:

- HAN I : 6,39 Sendungen pro Fahrstunde
- SWS II : 5,76 Sendungen pro Fahrstunde
- SWS I : 5,24 Sendungen pro Fahrstunde

(In den "Fahrstunden" sind jeweils die Anfahrwege zum ersten Empfänger und der Rückweg enthalten.)

Völlig unterschiedlich sind auch die "Umlauffaktoren" bei den Minimalfuhrparks:

- HAN I o,97
- SWS II 1,38
- SWS I 1,51

Diese Unterschiede macht ein Vergleich der "Tagesgänge" von SWS I (Bild 30) und HAN I (Bild 31) sowie der Fahrzeitverteilungen (Bild 32) besonders deutlich.

Der Tagesgang von SWS I weist das für Umlauffaktoren von über ca. 1,3 typische erste starke Einkommen der Nahfahrzeuge zwischen 10.00 Uhr und 12.00 Uhr auf. Sie werden dann zum Teil noch einmal beladen und beginnen eine zweite Verteiltour.

Völlig anders dagegen ist der Verlauf bei HAN I. Nach dem ersten Ausgang am frühen Morgen kommen tagsüber bis 14.00 Uhr nur sehr wenige Verteilfahrzeuge zurück. Sie fahren die Umschlagsanlage erst nach 14.00 Uhr wieder in größerem Umfang an. Das liegt daran, daß sie pro Fahrt wesentlich mehr Sendungen verteilen müssen - durchschnittlich 45,7 gegenüber 23,2 bei SWS I.

Korrespondierend hierzu bauen sich die Verteilungen der Fahrzeiten auf (Bild 32). Der Mittelwert von HAN I liegt bei 7,2 Std, von SWS I bei 4,4 Std pro Fahrt. (SWS II: 5,52 Std)

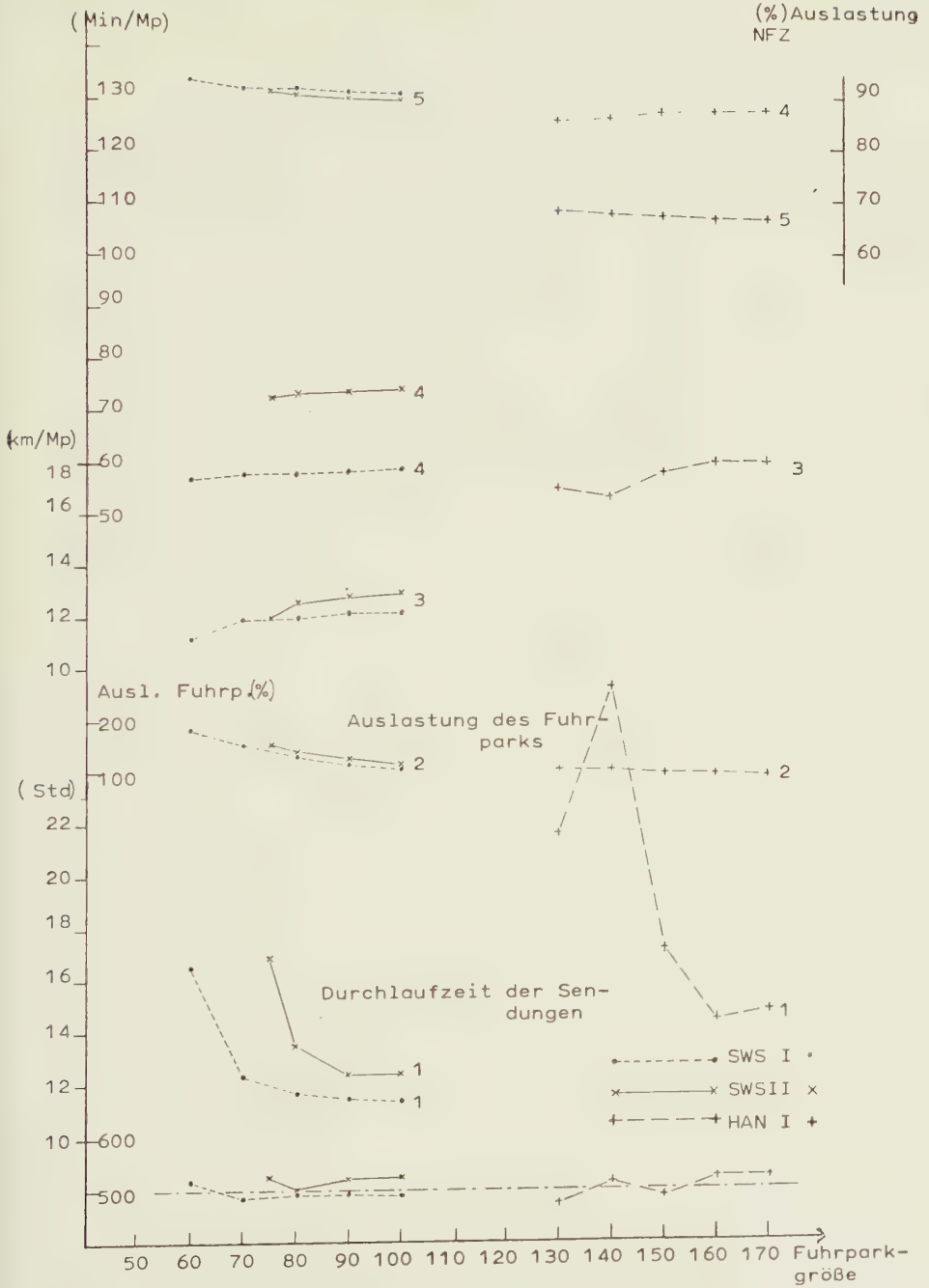


Bild 29: Einfluß der Sendungsstruktur auf Entscheidungskriterien

1-Durchlaufzeit Sendungen
2-Auslastung Fuhrpark
3-km/Mp
4-Min/Mp
5-Auslastung NFZ

** D I S H A L ** LAUF-NR : 11 VOM 80/01/07.ZEIT 21.46.27.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
==========

VERTEILUNG DER NAH-FZ-BEWEGUNGEN UEBER DEN TAG

:TAG : ZEIT:	NAHFAHRZEUGE : ANZAHL :	PROZENT:	TAGESGANG 2% 20% 40% 60% 80%
:< 1A:	0 :	0.0 :	
: E:	0 :	0.0 :	
:< 2A:	0 :	0.0 :	
: E:	0 :	0.0 :	
:< 3A:	0 :	0.0 :	
: E:	0 :	0.0 :	
:< 4A:	0 :	0.0 :	
: E:	0 :	0.0 :	
:< 5A:	0 :	0.0 :	
: E:	0 :	0.0 :	
:< 6A:	241 :	5.7 :	XXX
: E:	0 :	0.0 :	
:< 7A:	2405 :	56.9 :	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
: E:	2 :	.0 :	
:< 8A:	5 :	.1 :	X
: E:	36 :	.9 :	0
:< 9A:	183 :	4.3 :	XX
: E:	252 :	6.0 :	000
:<10A:	294 :	7.0 :	XXX
: E:	576 :	13.6 :	0000000
:<11A:	402 :	9.5 :	XXXXX
: E:	791 :	18.7 :	000000000
:<12A:	398 :	9.4 :	XXXXX
: E:	682 :	16.1 :	00000000
:<13A:	201 :	4.8 :	XX
: E:	211 :	5.0 :	00
:<14A:	101 :	2.4 :	X
: E:	196 :	4.6 :	00
:<15A:	0 :	0.0 :	
: E:	316 :	7.5 :	0000
:<16A:	0 :	0.0 :	
: E:	337 :	8.0 :	0000
:<17A:	0 :	0.0 :	
: E:	359 :	8.5 :	0000
:<18A:	0 :	0.0 :	
: E:	278 :	6.6 :	000
:<19A:	0 :	0.0 :	
: E:	146 :	3.5 :	00
:<20A:	0 :	0.0 :	
: E:	35 :	.8 :	0
:<21A:	0 :	0.0 :	
: E:	10 :	.2 :	0
:<22A:	0 :	0.0 :	
: E:	1 :	.0 :	
:<23A:	0 :	0.0 :	
: E:	0 :	0.0 :	
:<24A:	0 :	0.0 :	
: E:	0 :	0.0 :	

Bild 30: Verteilung der Ein- und Ausgänge der Verteilfahrzeuge über den Tag (Sendungsstruktur SWS I)

*** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
*** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 6 MINUTEN ***
*** SPAETESTER NAH-FZ-AUSGANG UM 13.00 UHR ***
TAGESMENGE: 500000. ANZAHL-VT 1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL10 ZUKURV 1.2
NU-LAST-F. 200000. -NAH: 5000. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM 130800
PZAHL: 14400 END-PER: 676799 SIM-DAUER: 575999 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.00
RADIEN: 1.0 3.0 7.0 25.0 DU-GESCHW: 20.0 30.0 35.0 45.0 MAX 125

** D I S B A L ** LAUF-NR :123 VOM 80/02/11.ZEIT 20.00.10.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :

VERTEILUNG DER NAH-FZ-BEWEGUNGEN UEBER DEN TAG

TAG : ZEIT:	NAHFAHRZEUGE : ANZAHL	PROZENT:	2% 20% 40% 60% 80%
:< 1A:	0	0.0 :	
: E:	0	0.0 :	
:< 2A:	0	0.0 :	
: E:	0	0.0 :	
:< 3A:	0	0.0 :	
: E:	0	0.0 :	
:< 4A:	0	0.0 :	
: E:	0	0.0 :	
:< 5A:	0	0.0 :	
: E:	0	0.0 :	
:< 6A:	82	1.9 :X	
: E:	0	0.0 :	
:< 7A:	3535	80.7 :XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	
: E:	3	.1 :	
:< 8A:	3	.1 :	
: E:	29	.7 :0	
:< 9A:	118	2.7 :X	
: E:	45	1.0 :0	
:<10A:	219	5.0 :XXX	
: E:	57	1.3 :0	
:<11A:	31	.7 :X	
: E:	82	1.9 :0	
:<12A:	286	6.5 :XXX	
: E:	116	2.6 :0	
:<13A:	88	2.0 :X	
: E:	71	1.6 :0	
:<14A:	18	.4 :X	
: E:	355	8.1 :0000	
:<15A:	0	0.0 :	
: E:	1255	28.7 :00000000000000	
:<16A:	0	0.0 :	
: E:	1513	34.5 :0000000000000000	
:<17A:	0	0.0 :	
: E:	205	4.7 :00	
:<18A:	0	0.0 :	
: E:	151	3.4 :00	
:<19A:	0	0.0 :	
: E:	221	5.0 :000	
:<20A:	0	0.0 :	
: E:	205	4.7 :00	
:<21A:	0	0.0 :	
: E:	68	1.6 :0	
:<22A:	0	0.0 :	
: E:	4	.1 :	
:<23A:	0	0.0 :	
: E:	0	0.0 :	
:<24A:	0	0.0 :	
: E:	0	0.0 :	

Bild 31: Verteilung der Ein- und Ausgänge der Verteilfahrzeuge über den Tag (Sendungsstruktur HAN I)

*** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
*** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 8 MINUTEN ***
*** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; HAN I ***
TAGESMENGE: 500000. ANZAHL-VF 1 SEND-KL: 5 MAXZAHL 50 MINZAHL10 ZUKURV 1.2
NU-LAST-F. 20000. -NAH: 5000. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM 100800
PZAHL: 14400 END-PER: 532799 SIM-DAUER: 431999 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.00
RADIEN: 1.0 3.0 7.0 25.0 DU-GESCHW: 20.0 30.0 35.0 45.0 MAX 210

** D I S B A L ** LAUF-NR : 11 VOM 80/01/07.ZEIT 21.46.27.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :

VERTEILUNG DER FAHRZEITEN DER NAHFAHRZEUGE

FZEI:	HAEUFIGKEIT		ZEIT-VERTEILUNG				
<STD:	ABSOLUT	PROZENT:	2%	20%	40%	60%	80%
		VERKEHRSTRAEGER - NR. 1					
< 1:	1	.0					
< 2:	52	1.2	X				
< 3:	447	10.6	XXXXX				
< 4:	1071	25.3	XXXXXXXXXXXX				
< 5:	1372	32.5	XXXXXXXXXXXXXXX				
< 6:	905	21.4	XXXXXXXXXX				
< 7:	300	7.1	XXXX				
< 8:	75	1.8	X				
< 9:	5	.1	X				
< 10:	0	0.0					
> 11:	0	0.0					

S/DU:	NFZ-AUS:	FAHRZEIT:	MITTEL	STRECKE :	MITTEL
	4228	18685.8:	4.4:	231471.0:	54.7

** D I S B A L ** LAUF-NR :123 VOM 80/02/11.ZEIT 20.00.10.

AUSDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :

VERTEILUNG DER FAHRZEITEN DER NAHFAHRZEUGE

FZEI:	HAEUFIGKEIT		ZEIT-VERTEILUNG				
<STD:	ABSOLUT	PROZENT:	2%	20%	40%	60%	80%
		VERKEHRSTRAEGER - NR. 1					
< 1:	0	0.0					
< 2:	30	.7	X				
< 3:	57	1.3	X				
< 4:	96	2.2	X				
< 5:	142	3.2	XX				
< 6:	252	5.8	XXX				
< 7:	877	20.0	XXXXXXXXXX				
< 8:	1818	41.5	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX				
< 9:	1079	24.6	XXXXXXXXXXX				
< 10:	27	.6	X				
> 11:	2	.0					

S/DU:	NFZ-AUS:	FAHRZEIT:	MITTEL	STRECKE :	MITTEL
	4380	31541.2:	7.2:	261653.2:	59.7

Bild 32: Verteilung der Fahrzeiten der Verteilfahrzeuge (Sendungsstrukturen SWS I und HAN I)

Gravierende Unterschiede sind auch bei der Gewichtsauslastung der Fahrzeuge festzustellen:

- HAN I 67,2 % ≙ 45,7 Sendungen
- SWS II 90,7 % ≙ 31,8 Sendungen
- SWS I 91,9 % ≙ 23,2 Sendungen

Die Durchlaufzeit der Sendungen liegt bei HAN I wesentlich höher als bei den beiden anderen Strukturen:

- HAN I : 17,2 Std
- SWS II : 13,5 Std
- SWS I : 12,4 Std

Insgesamt gesehen, bringen Sendungsstrukturen mit geringen Durchschnittsgewichten demnach einen wesentlich höheren "Verteilaufwand" mit sich als solche mit hohen Durchschnittsgewichten. Durch den Einsatz kleinerer Fahrzeuge (Nutzlast ca. 3000 - 4000 kp) bei derartigen Strukturen lassen sich zwar dieselben Leistungen erbringen wie mit der gleichen Anzahl größerer - wegen der dann einsetzenden Erhöhung des Umlauffaktors - dennoch kann diese Einsparung bei den Investitionskosten die sonstige Aufwandssteigerung bei weitem nicht ausgleichen.

Für die Neuakquisition von Versendern ist es für die Spediteure daher ratsam, sich auf solche zu konzentrieren, die Sendungen mit hohem Gewicht verschicken.

5.2.4. Der Einfluß der Zahl von Sendungen pro Empfänger

Bei diesen Simulationen werden Fahrzeuge mit 4000 kp Nutzlast verwendet, der Tagesdurchsatz wurde von 500 Mp bis 5000 Mp variiert. Untersucht wurde, wie sich das System verhält, wenn die Zahl der abgelieferten Sendungen pro Empfänger verändert wird. (Tabelle A5)

Dazu wurden folgende Verteilungen und Tagesmengen kombiniert:

Tagesmengen:

-	5000 Mp	5000 Mp	5000 Mp
-	2000 Mp	2000 Mp	2000 Mp
-	1000 Mp	1000 Mp	-
500 Mp	500 Mp	500 Mp	-

Verteilungen:

-	1 %	2 %	3 %	der Empfänger erhalten 1 Sendung
-	5 %	10 %	15 %	" " " 2 Sendungen
-	10 %	20 %	30 %	" " " 3 Sendungen
100 %	84 %	68 %	52 %	" " " 4 Sendungen

aus den Verteilungen ergeben sich durchschnittlich:

1,00	1,23	1,46	1,69 Sendungen pro Empfänger
			(Indexzahlen)

Bild 33 zeigt die Ergebnisse.

Ganz deutlich wird, daß durch die Erhöhung der Zahl der Sendungen pro Empfänger die Werte für

- die Zeit und Strecke pro Fahrt und ausgefahrene Gutmenge sinken und der Wert für
- die Auslastung des Fuhrparks steigt.

Durch die Erhöhung der Auslastung des Fuhrparks (≙ Umlauffaktor) werden weniger Fahrzeuge benötigt, um dieselbe Gutmenge zu verteilen:

Tabelle 21: Minimalzahl Fahrzeuge bei verschiedenen Werten für Sendungen pro Empfänger und Tagesdurchsatz

	Sendungen pro Empfänger		
Tagesdurchsatz:	1,23	1,46	1,69
500 Mp	81	81	-
1000 Mp	156	144	-
2000 Mp	300	275	263
5000 Mp	750	688	625

Wie sich die Zahl der Sendungen pro Empfänger mit zunehmender Größe der GVZ, was gleichbedeutend mit einem höheren Marktanteil

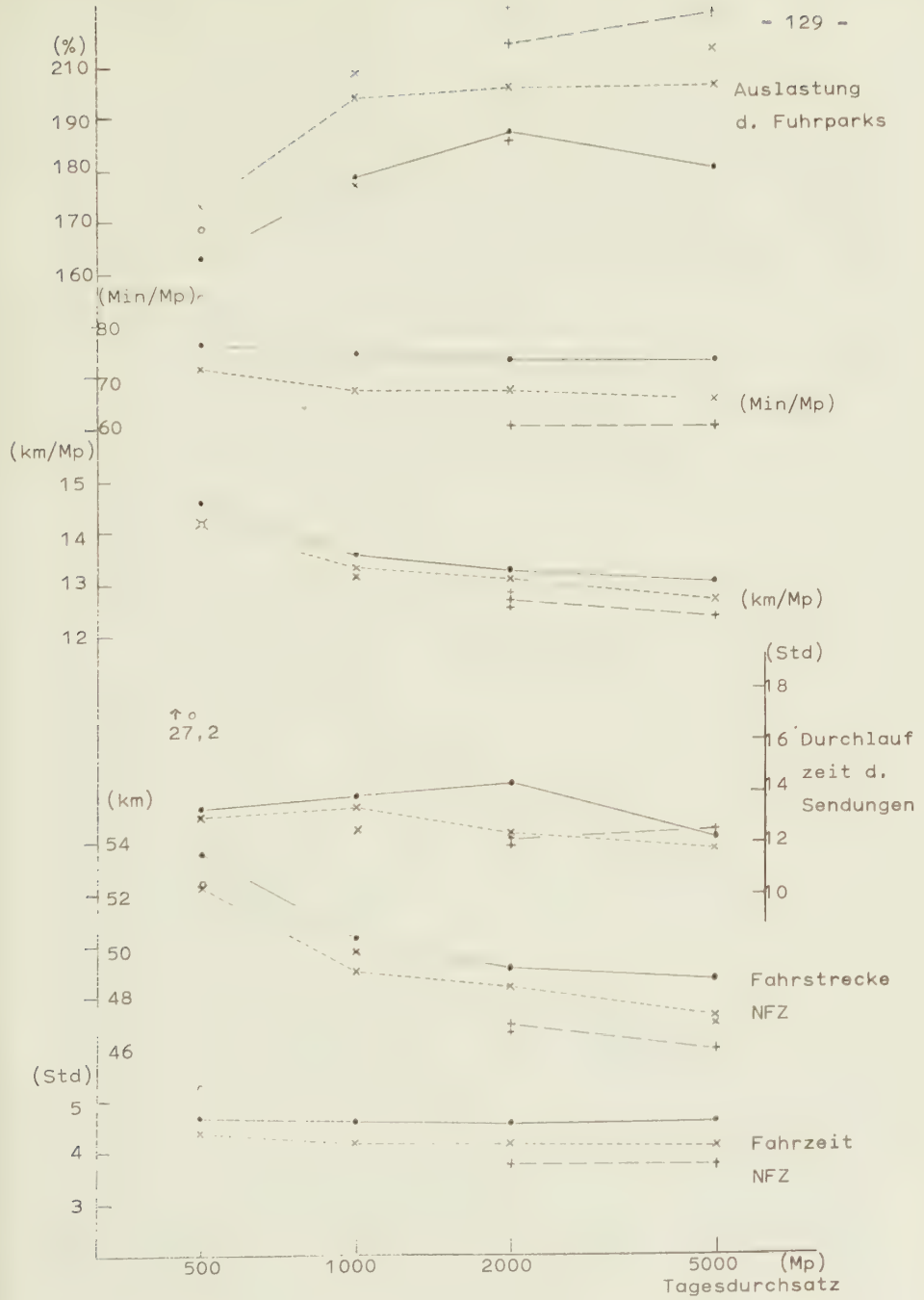


Bild 33: Einflüsse der Zahl der abgeladenen Sendungen pro Empfänger
(∘ 1,00 Sendungen pro Empfanger, • 1,23 Sendungen pro Empfänger,
x 1,46 Sendungen " " , + 1,69 Sendungen " ")

im Ballungsraum ist, entwickelt, kann quantitativ schwer vorhergesehen werden.

Da der Markt jedoch begrenzt ist, können höhere Marktanteile nur der Konkurrenz oder anderen Verkehrsträgertypen "abgenommen" werden. Diese bedienen zumindest zum Teil die gleichen Empfänger.

Aus diesem Grund kann mit Recht behauptet werden, daß die Zahl der Sendungen pro Empfänger mit zunehmender Tagesmenge der GVZ steigen wird.

Dies wurde bei den Simulationen berücksichtigt, indem die Indexzahl 1,69 nur bei 2000 Mp und 5000 Mp Tagesdurchsatz angewendet wurde.

Dennoch können diese Simulationen nur als "Modellrechnungen" angesehen werden, da die Eingabeverteilungen zwar im Trend, aber nicht absolut belegbar sind.

Bei Verdoppelung des Tagesdurchsatzes von 1000 Mp auf 2000 Mp und einer dadurch verursachten Erhöhung der Indexzahl von 1,23 auf 1,46 sinkt die Zeit pro verteilter Menge von 74,8 Min/Mp auf 67,4 Min/Mp (- 9,9 %) bei gleichzeitiger Verringerung des Fuhrparks von 57,5 % auf 55 % (- 4,3 %). Erhöht sich dagegen die Indexzahl von 1,23 auf 1,69, dann geht die Zeit auf 61,0 Min/Mp (- 18,4 %) und der Fuhrpark auf 52,5 % (- 8,7 %) (vergl. Tab. 21).

Für Unternehmen, die kooperieren oder fusionieren wollen - wie dies für die Schaffung von GVZ vorgeschlagen wird - bedeutet dies, daß die wirtschaftlichen Effekte umso größer sind, je stärker sich die jeweiligen Kundenkreise (≙ Empfänger und Versender) decken.

In solchen Fällen bringt die Vergrößerung der Zahl der Sendungen pro Empfänger wesentlich stärkere positive Auswirkungen mit sich als die Verminderung der Fahrstrecke zwischen den einzelnen Empfängern.

Auch im Verkehrsaufkommen im Ballungsraum zeigen sich positive Effekte, sinkt doch die Kilometerleistung pro Mp Verteilgut von 13,6 km/Mp bei 1000 Mp Durchsatz (Indexzahl 1,23) auf 13,1 km/Mp bei 2000 Mp (Indexzahl 1,46) bzw. 12,7 km/Mp (Indexzahl 1,69).

Diese Einspa rungen an Fahrleistung von 0,5 km bzw. 0,9 km pro Mp summieren sich bei einem Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesdurchsatz zu 5000 bzw. 9000 km pro Tag oder 1,2 Mio km bzw. 2,16 Mio km pro Jahr (240 Arbeitstage).

Zwei GVZ 1000 (Index 1,23) haben gleichzeitig zur Spitzenzeit 312 Fahrzeuge im Einsatz, gegenüber 275 Fahrzeugen bei einer GVZ 2000.

5.3. Einflüsse von Modellparametern

Um zu erkennen, welchen Einfluß verschiedene Modellparameter auf die Entscheidungskriterien besitzen, wurden auch diese in einigen Simulationen untersucht.

Bei verschiedenen Läufen mit den beiden Verteilroutenalgorithmen (vergl. Abschn. 4.5.3.) zeigte sich sehr schnell, daß die Mittelwerte der Streckenlängen zwar annähernd gleich sind, die Maximalwerte bei Route 2 aber in unrealistischen Bereichen liegen (bis zu 700 km pro Fahrt). Deshalb wurden alle anderen Simulationen nur mit Routine 1 durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulationen mit Route 2 zeigt Tabelle A6.

Die Variation der Maximalzahl der Verteilsendungen pro Fahrzeug zwischen 30 und 60 (vergl. Abschn. 4.5.4.) hat über max. 50 Sendungen pro Fahrt kaum Auswirkungen auf die Auslastung der Fahrzeuge (von 90,7 % auf 91,1 %), verlängert jedoch die Fahrzeit bei einigen wenigen Fahrten zu stark (über 10 Std). Zudem erhöht sich die Fahrzeit pro Mp von 72,8 Min (max=50) auf 73,7 Min (max=60). Daher wurde als Standard ein Maximalwert von 50 beibehalten. Bei Werten unter 50 sinkt die Auslastung der Fahrzeuge ab (71,8 % bei Maximalzahl 30 gegenüber 90,7 % bei 50). Die Ergebnisse zeigt Tab. A7.

Eine Verminderung der Minimalzahl Sendungen pro Fahrzeug von 10 auf 5 zeigt nur bei den kleinsten untersuchten Verkehrsträgern (10, 20, 50 Mp Tagesdurchsatz) Wirkung, da bei größerem Umschlag fast immer genügend Sendungen vorhanden sind, um die Untergrenze von 10 Sendungen zu überspringen. Die Ergebnisse mit einer GVZ 500 zeigt Tab. A8.

5.3.1. Der Einfluß des "Kurvenzuschlags"

Durch den Kurvenzuschlag wird im Modell die von der Luftlinie abweichende Straßenführung im Ballungsraum nachgebildet. Der verwendete Standardwert beträgt 1,2. (=20 % Zuschlag zur Luftlinie)

Um besonders günstige bzw. ungünstige Straßenverhältnisse nachzubilden, wurde der Faktor zwischen 1,0 und 1,6 variiert.

Ein Wert von 1,0 bedeutet, daß die Wege zwischen den einzelnen Punkten einer Fahrt jeweils der Luftlinie entsprechen; ein Wert von 1,4 ist gleichzusetzen mit der Weglänge, die entsteht, wenn zwei Punkte entlang den Katheten eines gleichschenkligen rechtwinkligen Dreiecks angefahren werden (vergl. Bild 5), was einer rechtwinkligen Straßenführung entspräche.

Die Werte über 1,4 dürften in der Praxis selten sein. Ihnen entspräche eine extreme Einbahnstraßenorganisation und sehr ungünstig liegende Anfahrpunkte.

Die Werte der Simulationen sind in Tabelle A9 dargestellt.

Einige Auszüge sind im Folgenden wiedergegeben:

Kurven-faktor	Ø Fahrzeit (Std)	Ø Fahrstrecke (km)	Zeit pro Mp (Min)	Strecke pro Mp (km)	Durchlauf Zeit (Std)
1,2	5,52	60,0	73,1	12,6	13,5
1,4	5,76	66,8	76,0	14,7	13,4
1,6	5,99	76,6	79,3	16,9	13,7

Wie zu erwarten war, steigt durch eine verwinkelte Straßenführung (Zuschlagsfaktor 1,4) die Fahrstrecke stark an. Diesem Anstieg folgt die Fahrzeit in weit geringerem Maße. Ihr Zuwachs steigt bei 4 %, wenn man die (realistischen) Werte von 1,2 und 1,4 vergleicht.

Parallel dazu verhalten sich die Werte "Zeit pro Mp" und "Strecke pro Mp". Bei der Durchlaufzeit der Sendungen durch das System ist der Trend vorhanden, mit zunehmendem Faktor anzuwachsen. Er wird aber bei einigen Läufen von anderen Gegebenheiten - z.B. zu hoher Tagesdurchschub - überlagert.

Global gesehen, zeigt die Untersuchung des Kurvenzuschlagsfaktors, daß das Modell im vorgestellten Bereich ziemlich unempfindlich reagiert.

Dies bestätigt die Ergebnisse aus Abschnitt 5.2.2., wo eine unempfindliche Reaktion auf die Variation der Geschwindigkeit im Ballungsraum festgestellt werden konnte.

5.3.2. Der Einfluß der Haltezeit bei den Empfängern

Die Aufenthaltszeit bei den Sendungsempfängern setzt sich in der Hauptsache aus

- der Entladezeit für die Sendungen und
- einem "fixen" Zeitanteil

zusammen. Mit dem fixen Zeitanteil werden Tätigkeiten wie Anmelden beim Empfänger, Kassieren von Rollgeldern, Rangieren des Fahrzeugs etc. abgedeckt.

Bei den Standarddaten sind dafür 8 Min pro Empfänger vorgesehen. (vergl. Tab. 15.)

Die Entladezeit für die Sendungen wird aus der Klasse der Sendung und der dazugehörigen Entladezeit (vergl. Tab. 11) gebildet.

Schwerdtfeger geht auf Grund seiner Untersuchungen von einer durchschnittlichen Standzeit der Fahrzeuge beim Empfänger von 9,9 Min pro Halt aus (Schwerdtfeger 1976, S.171 ff).

Im Modell wird dieser Wert mit großer Genauigkeit erreicht, da die Entladezeiten zwischen 0,6 und 3,5 Min je nach Sendungsklasse angenommen wurden und die Fixzeit meist 8 Minuten betrug.

Für die Untersuchung des Einflusses der Fixzeiten wurden diese zwischen 5 Min und 15 Min variiert.

Tabelle A10 und Bild 34 zeigen die Ergebnisse. Simuliert wurde mit 500 Mp Tagesdurchsatz, 5000 kp Nutzlast der Fahrzeuge und einem Fuhrpark mit 80 Fahrzeugen (entsprechend 80 %).

Besonders interessant für eine Leistungsanhebung des Systems ist der Bereich zwischen 5 und 10 Minuten.

Die durchschnittliche Fahrtdauer sinkt mit abnehmender "Fixzeit" sehr stark. Die Halbierung von 10 auf 5 Min bringt eine Kürzung der Fahrtdauer von 6,33 Std. auf 4,22 Std. mit sich (-33 %), die Verbesserung von 8 auf 7 Min kürzt die Fahrt um mehr als eine halbe Stunde (-9 %).

Den Vergleich der Verteilung der Fahrzeiten bei 5 und 10 Minuten zeigt Bild 35 . Ganz deutlich sind hierbei die Unterschiede ersichtlich. Während bei 5 Minuten Fixzeit die Fahrzeitklassen über 7 Stunden nicht mehr besetzt sind, befinden sich bei 10 Minuten Fixzeit 38 % aller Fahrten in diesem Bereich.

Die Durchlaufzeit der Sendungen steigt über 8 Minuten Fixzeit stark an. Das bedeutet, daß die Fuhrparkkapazität teilweise überfordert wird. Bei 15 Minuten Fixzeit wurde der Fuhrpark auf 90 Fahrzeuge (= 90 %) erhöht. Dennoch liegt die Durchlaufzeit noch über 30 Stunden, d.h. der Fuhrpark ist den Anforderungen immer noch nicht gewachsen.

Die Auslastung der Fahrzeuge steigt mit zunehmender Fixzeit leicht an (von 89,8 % auf 92,8 %), da bei hoher Fixzeit öfter Sendungen liegenbleiben, so daß ständig ein etwas höherer Bestand am Zwischenlager vorhanden ist und damit die Fahrzeuge selten mit geringen Mengen ausfahren.

Aus dieser stärkeren Beladung resultiert die abfallende Tendenz der Strecke pro Mp mit zunehmender Fixzeit - die Lieferpunkte liegen enger beieinander.

Die Größe des Fuhrparks wurde in Abhängigkeit von der Fixzeit (abgesehen bei 15 Min) nicht verändert. Aus den Simulationsergebnissen läßt sich jedoch erkennen, daß bei einer Verringerung der Fixzeit die Kapazitätsreserven und damit die Elastizität des Fuhrparks stark ansteigen.

Bei vorsichtiger Schätzung kann davon ausgegangen werden, daß diese Reserve ausreicht, um bei einer Verkürzung der Fixzeit von 8 auf 5 Minuten pro Halt den Fuhrpark um mindestens 10 bis 12 Fahrzeuge (13 - 15 %) verkleinern zu können, ohne nennenswerte Einbußen an seiner Leistungsfähigkeit zu erleiden.

Demnach liegt in der Verkürzung der Aufenthaltszeit bei den Empfängern eine Einsparungsmöglichkeit erheblichen Umfangs.

Im Bereich der Fixzeit zwischen 5 und 10 Minuten bringt die Verminderung bzw. Erhöhung der Fixzeit um 1 Minute durchschnittlich 25 Minuten Verkürzung bzw. Verlängerung der Fahrzeit mit sich.

Durch die kürzeren Fahrzeiten kann der Umlauf der Fahrzeuge schneller gestaltet werden, wodurch der o.g. Einspareffekt von 10 - 12 Fahrzeugen möglich wird.

Für Verteiler und Sammler liegt es also nahe, die Haltezeiten möglichst kurz zu halten. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist - dies wurde von den befragten Unternehmen bestätigt -, daß ein Fahrer ständig im selben Gebiet eingesetzt wird, da er sich dann dort genau auskennt und bei den einzelnen Empfängern oder Versendern mit den jeweiligen Gegebenheiten vertraut ist.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, bei "Stammkunden" auf das Kassieren von Rollgeldern durch den Fahrer zu verzichten und periodenweise abzurechnen. Ferner können mit den Empfängern und Versendern, die öfter angefahren werden, Vereinbarungen

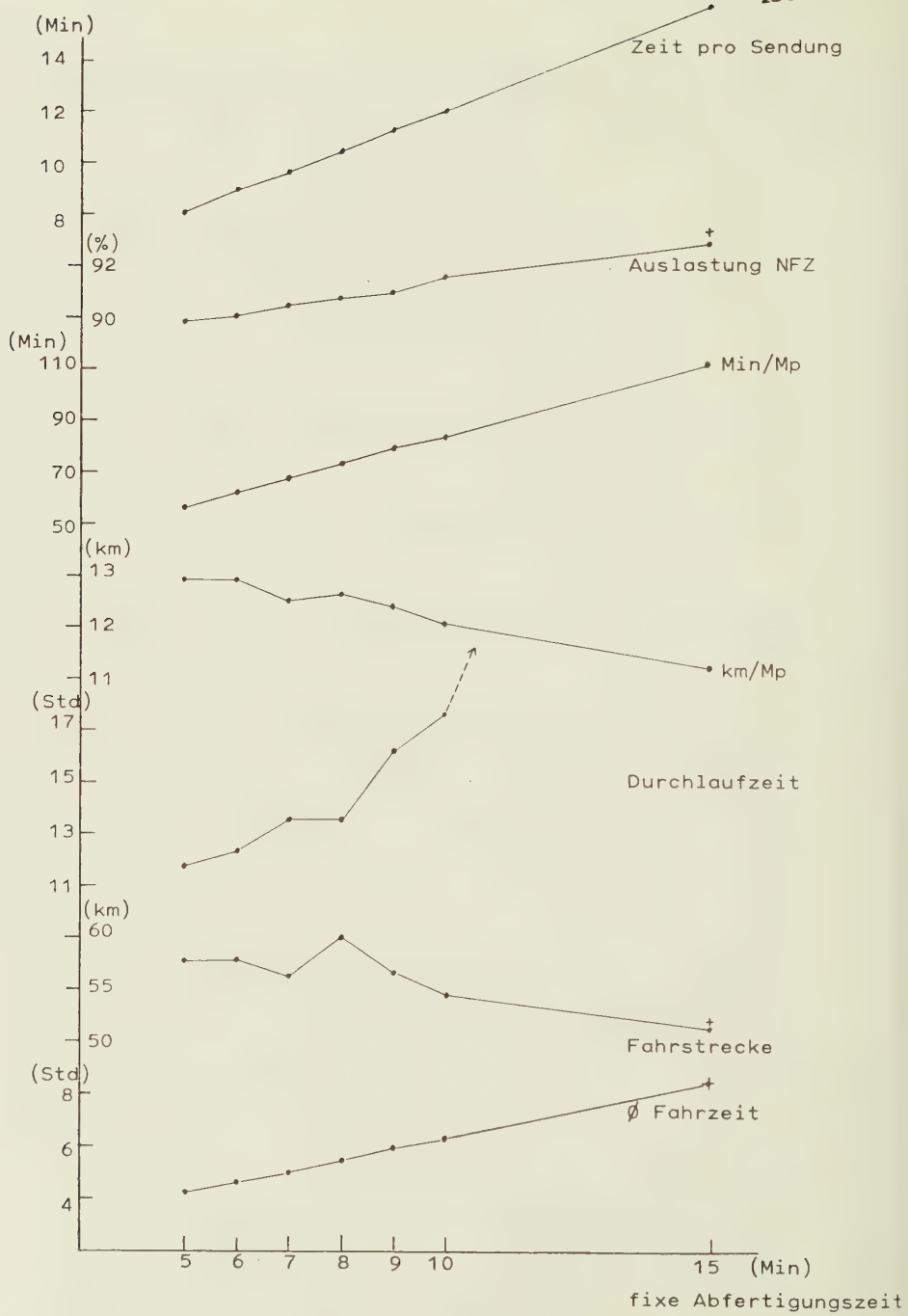


Bild 34: Einfluß der "fixen Abfertigungszeit" beim Empfänger

** D I S B A L ** LAUF-NR : 71 VOM 80/01/23.ZEIT 21.00.01.

USDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
==========

ERTEILUNG DER FAHRZEITEN DER NAHFAHRZEUGE 5 Min

ZEI:	HAEUFIGKEIT		ZEIT-VERTEILUNG				
STD:	ABSOLUT	PROZENT:	2%	20%	40%	60%	80%
			VERKEHRSTRAEGER - NR. 1				
1:	2	.1					
2:	96	3.0	X				
3:	434	13.2	XXXXXXX				
4:	842	25.6	XXXXXXXXXXXXX				
5:	999	30.4	XXXXXXXXXXXXXXX				
6:	745	22.6	XXXXXXXXXXX				
7:	169	5.1	XXX				
8:	3	.1					
9:	0	0.0					
10:	0	0.0					
11:	0	0.0					

/DU:		NFZ-AUS:	FAHRZEIT: MITTEL	STRECKE : MITTEL
	3290	13670.4:	4.2: 190502.0:	57.9

** D I S B A L ** LAUF-NR : 75 VOM 80/01/23.ZEIT 22.07.55.

USDRUCK DER SIMULATIONSERGEBNISSE :
==========

ERTEILUNG DER FAHRZEITEN DER NAHFAHRZEUGE 10 Min

ZEI:	HAEUFIGKEIT		ZEIT-VERTEILUNG				
STD:	ABSOLUT	PROZENT:	2%	20%	40%	60%	80%
			VERKEHRSTRAEGER - NR. 1				
1:	2	.1					
2:	31	.9	X				
3:	175	5.5	XXX				
4:	197	5.9	XXX				
5:	382	11.5	XXXXXX				
6:	567	17.0	XXXXXXXXX				
7:	707	21.3	XXXXXXXXXXX				
8:	602	18.1	XXXXXXXXX				
9:	400	12.0	XXXXXX				
10:	230	6.9	XXX				
11:	33	1.0	X				

'DU:		NFZ-AUS:	FAHRZEIT: MITTEL	STRECKE : MITTEL
	3326	21048.5:	6.3: 182140.0:	54.6

Bild 35: Vergleich der Fahrzeitverteilungen bei 5 und 10 Min. fixer Abfertigungszeit.

*** MITTAGSPAUSE DER FAHRER VON 1 H BERUECKSICHTIGT ***
*** ABFERTIGUNGSZEIT BEIM EMPFAENGER 8 MINUTEN ***
*** MODIFIZIERTE SENDUNGSSTRUKTURDATEN; SWS II ***
ESMENGE: 500000. ANZAHL-VT 1 SEND-KL: 7 MAXZAHL 50 MINZAHL10 ZUKURV 1.2
LAST-F. 20000. -NAH: 5000. LASTFAKTOR: 40.0 START-DOKUM 100800
HL: 14400 END-PER: 532799 SIM-DAUER: 431999 EINGAENGE: 16 AUSPRO: 65.00
IEN: 1.0 3.0 7.0 25.0 DU-GESCHW: 20.0 30.0 35.0 45.0 MAX 135

darüber getroffen werden, daß die Fahrzeuge bevorzugt oder beschleunigt abgefertigt werden.

Weiterhin kann bei entsprechender Sendungsstruktur durch den Einsatz von Hilfsmitteln (Ladekräne oder Ladebordwand) am Fahrzeug eine Verringerung der Haltezeit erreicht werden.

5.4. Einflüsse der Modellvarianten

5.4.1. Einfluß der Nutzlast der Verteilfahrzeuge

Diese Läufe wurden mit einem Tagesdurchsatz von 500 Mp gerechnet. Die Nutzlast der Verteilfahrzeuge betrug 4000, 5000 und 6000 kp. Zudem wurde die Fuhrparkgröße variiert, um die "minimale" Anzahl von Fahrzeugen zu ermitteln, die die geforderte Leistung zu erbringen in der Lage ist.

Die Ergebnisse zeigen Tabelle A11 und Bild 36 .

Bei der kleinsten noch anwendbaren Fuhrparkgröße zeigen sich erhebliche Unterschiede bei der Verwendung von Fahrzeugen verschiedener Fahrzeuggrößen:

Nutzlast	Anzahl Fahrzeuge (Minimal)	Relative Größe d. Fuhrparks	Nutzlast d. Fuhrparks
4000 kp	81	65 %	324 Mp
5000 kp	80	80 %	400 Mp
6000 kp	75	90 %	450 Mp

Ablesbar sind diese "Minimalfuhrparks" an der Durchlaufzeit der Sendungen in Bild 36. Sie steigt ab diesem Punkt jeweils stark an.

Bei der durchschnittlichen Verteilzeit zeigt sich die unterschiedliche Beladung der Fahrzeuge deutlich. Sie beträgt bei 4000 kp/65 % 4,68 Std, bei 5000 kp/80 % 5,52 Std und bei 6000 kp/90 % 6,25 Std. Durch die niedrigere Fahrzeit bei den kleinen Fahrzeugen sind sie in größerem Umfang mehrmals pro Tag einsetzbar als die Großen. Dadurch sind bei ihnen höhere Umlauffaktoren erreichbar, und die Zahl der Fahrzeuge relativ zu ihrer Nutzlast kann geringer sein.

Durch den schnelleren und häufigeren Umlauf der kleineren Fahrzeuge wird die Durchlaufzeit der Sendungen verringert, weil Sendungen, die während der ersten Fahrt des Fahrzeugs eingehen, schon bei der zweiten Fahrt verteilt werden können und nicht bis zum nächsten Tag zwischengelagert werden müssen.

Die Auslastung der Fahrzeuge liegt bei den großen etwas unter den kleinen.

Wegen der großen Anzahl verteilter Sendungen pro Fahrt liegt die Strecke und Zeit pro verteilter Gutmenge bei den großen Fahrzeugen wesentlich günstiger als bei den kleinen (14,6 km/Mp bzw. 76,6 Min/Mp bei 4000 kp zu 11,1 km/Mp bzw. 70,7 Min/Mp bei 6000 kp), da die Anfahrwege und -zeiten bei jeder Fahrt von einer größeren Gutmenge getragen werden.

Trotz dieser Vorteile können die Fahrzeuge mit 6000 kp Nutzlast im Verteilverkehr kaum eingesetzt werden, da sie im Ballungsraum zu unbeweglich sind. Außerdem müssen sie mit einem Führerschein der Klasse II gefahren werden, so daß das Arbeitskräftepotential sehr beschränkt würde. Trotz der geringeren Zahl von Fahrzeugen (75 zu 81) lägen die Investitionskosten für den Fuhrpark mit 6000 kp-Fahrzeugen über denen mit 4000- und 5000 kp-Fahrzeugen.

Daher kann man sich für die Verteilung im Ballungsraum auf Fahrzeuge mit max 5000 kp Nutzlast beschränken.

Der Hauptvorteil eines solchen Fuhrparks liegt in seiner großen Elastizität und Anpassungsfähigkeit, die durch die kurzen Fahrzeiten entsteht; Fuhrparks mit großen Fahrzeugen hingegen sind schwerfällig.

Selbstverständlich ist zu beachten, daß diese Ausführungen nur auf Gutstrukturen anwendbar sind, die der verwendeten SWS II-Struktur ähneln.

Bei höheren Durchschnittsgewichten der Sendungen können größere

Fahrzeuge durchaus günstige Ergebnisse bringen.

5.4.2. Einfluß der Fuhrparkgröße

In Bild 36 sind die Simulationsergebnisse über der Fuhrparkgröße aufgetragen. Diese bestimmt die Effektivität der Verteilung in ergeblichem Maße.

Vergleicht man die Werte der Simulationen mit 4000 kp Nutzlast für den Umlauffaktor, so erkennt man, daß der 100 %-Fuhrpark gegenüber dem 65 %-Fuhrpark weit geringer belastet ist. Die Werte der übrigen Kriterien werden von der Fuhrparkgröße nur geringfügig beeinflußt. Eine Ausnahme davon bildet die Durchlaufzeit der Sendungen, die sehr stark ansteigt, sobald der Fuhrpark so weit verkleinert wird, daß nur noch geringe Kapazitätsreserven vorhanden sind, um auftretende Leistungsspitzen abzufangen. Gleichzeitig wird natürlich auch die Elastizität in bezug auf erhöhte Leistungsanforderungen vermindert.

Als optimale oder minimale Fuhrparkgröße wird in dieser Arbeit diejenige Anzahl von Verteilfahrzeugen verstanden, mit der ohne Schwierigkeiten über mehrere Tage hinweg ein Tagesdurchsatz von 10 % über der Solleistung (= Durchschnittswert) bewältigt werden kann.

Bei einer Verkleinerung eines Fuhrparks auf die optimale Größe wird die notwendige Leistungssteigerung der einzelnen Fahrzeuge durch häufigere Ausfahrt erreicht.

5.4.3. Einfluß der Standorte der Umschlagsanlage

Untersucht wurden die Einflüsse der Entfernung vom Mittelpunkt des Ballungsraumes (Tab. A12) und des Winkels in bezug auf die Polarachse bei gleichbleibender Entfernung (Tab. A13). Simuliert wurde mit 500 Mp Tagesdurchsatz und 80 Verteilfahrzeugen (≙ 80 % Fuhrpark) mit 5000 kp Nutzlast.

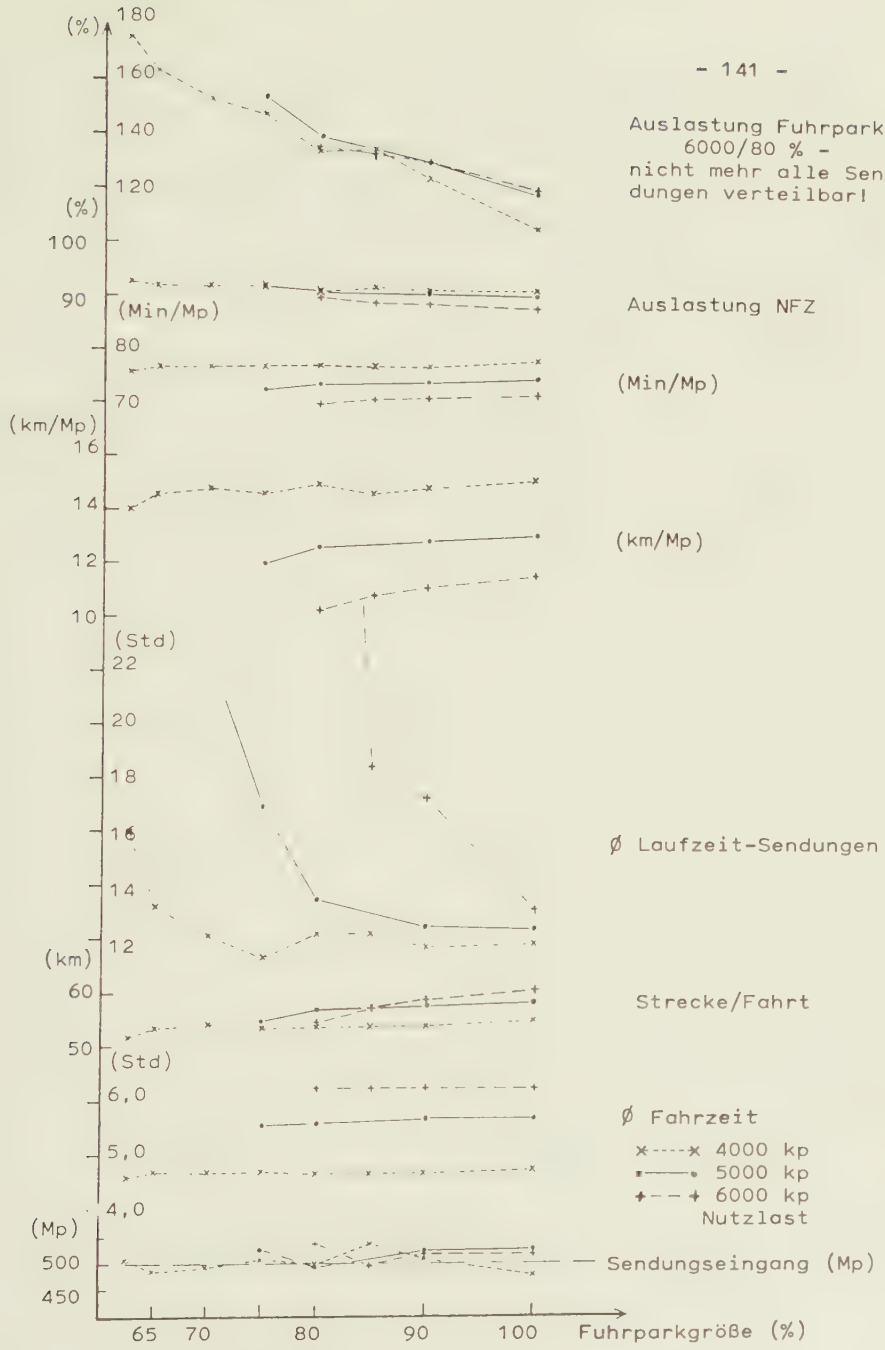


Bild 36: Einfluß der Nutzlast der Verteilfahrzeuge

Es stellte sich heraus, daß im Modell der Winkel, den der Standort der Umschlagsanlage mit der Polarachse bildet, keinen Einfluß auf die Simulationsergebnisse hat. Dies war zu erwarten, da innerhalb der Kreisringe für die Sendungsstruktur und die Empfängerstandorte Gleichverteilungen angenommen wurden.

Anders verhält es sich mit dem Abstand der Umschlagsanlage zum Ballungsraummittelpunkt. Bild 37 zeigt die Ergebnisse der Simulationen.

Daraus wird deutlich, daß die Fahrzeit der Verteilfahrzeuge erst jenseits 10 km Entfernung vom Ballungsraum nennenswert anzusteigen beginnt. Sie beträgt 5,55 Std, wenn die Umschlagsanlage genau im Mittelpunkt des Ballungsraumes plaziert ist, 5,69 Std, wenn diese 10 km entfernt liegt, jedoch 5,91 Std, wenn die Entfernung 15 km mißt.

Einen stärkeren Anstieg mit zunehmender Entfernung zeigt der Wert für die gefahrenen km pro Tour: 55,4 km (Entfernung = 0,0km), 66,4 km (Entfernung = 10 km) und 76,3 km (Entfernung = 15 km).

Daß dies nicht stärker auf die Fahrzeiten durchschlägt, liegt daran, daß mit zunehmender Entfernung vom Ballungsraum ein größerer Anteil der gefahrenen Kilometer in Gebieten mit höherer Geschwindigkeit zurückgelegt werden.

Dies hat bei den einkommenden Fernfahrzeugen sogar zur Folge, daß ihre Verweilzeiten im Ballungsraum mit zunehmender Entfernung vom Mittelpunkt zunächst abnehmen und erst ab 10 km Entfernung wieder ansteigen, obwohl ihre Fahrleistung (km) im Ballungsraum über den gesamten untersuchten Bereich kontinuierlich ansteigt. Die Erhöhung der Geschwindigkeit überdeckt jedoch zunächst den zu erwartenden Effekt der längeren Fahrstrecke.

Betrachtet man den Verteilverkehr unabhängig vom einkommenden Fernverkehr, erscheint eine "zentrierte" Umschlagsanlage als der Idealfall.

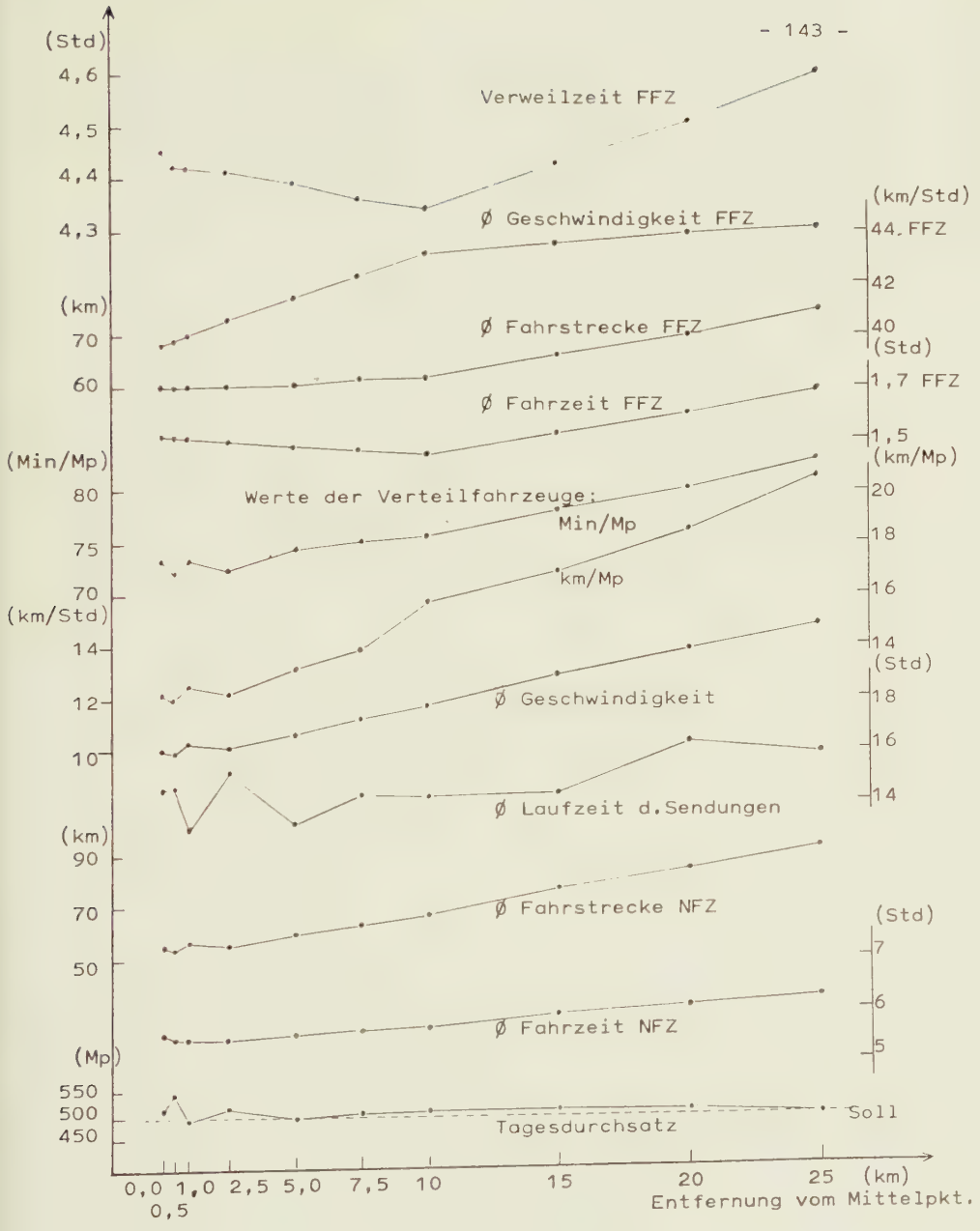


Bild 37: Einfluß des Standortes der Umschlagsanlage
Variation der Entfernung vom Mittelpunkt des Ballungsraumes

Im Bereich bis 10 km Entfernung vom Mittelpunkt des Ballungsraumes jedoch bleibt die Effektivität der Gutverteilung in durchaus annehmbaren Grenzen. Größere Entfernungen vom Mittelpunkt sind als Standort für Umschlagsanlagen für GVZ weniger geeignet.

Dagegen scheint für den Fernverkehr ein Standort in 5 - 10 km Entfernung vom Mittelpunkt am günstigsten.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, daß im Bereich bis 10 km Entfernung vom Mittelpunkt günstige Ergebnisse bei der Verteilung von Stückgütern zu erzielen sind. Dieser Bereich gilt nur für Ballungsräume von mindestens 50 km Durchmesser. Bei kleineren Räumen liegt die Obergrenze mit Sicherheit niedriger. Zudem sind in der Praxis noch weitere Gesichtspunkte für die Standortwahl entscheidend, die im Modell nicht berücksichtigt werden, wie z.B.:

- Liefer- bzw. Sammelschwerpunkte
- Straßenverläufe
- Bebauungspläne.

5.5 Einflüsse der Modellalternativen

Um die Auswirkungen zu untersuchen, die auftreten, wenn ein Ballungsraum von Verkehrsträgern verschiedener Größenordnung mit Stückgütern ver- und entsorgt wird, wurden 55 Simulationsläufe mit 5000 kp und 24 Läufe mit 4000 kp Nutzlast der Verteilfahrzeuge durchgeführt.

Innerhalb der Läufe einer Größenklasse wurde die Zahl der Fahrzeuge verändert, um den "minimalen" Fuhrpark pro Verkehrsträger festzustellen. Die Simulationsdauer wurde je nach Größenklasse angepaßt, um die Rechenzeiten in annehmbaren Grenzen zu halten. Verwendet wurde die Sendungsstruktur SWS II.

Simuliert wurde mit allen im Abschnitt 3.1. angegebenen GVZ-Größenklassen von 10 Mp bis 10 000 Mp Tagesumschlag.

Auf eine Anhebung der Zahl der Sendungen pro Empfänger wurde verzichtet, weil nicht sicher davon ausgegangen werden kann,

daß dieser Effekt mit zunehmender Größe eintritt, wenn es auch sehr wahrscheinlich ist.

Als Standort der Umschlagsanlagen wurde ein Punkt im Ballungsraum gewählt, der 3 km vom Mittelpunkt entfernt den Winkel 3,0 (Bogenmaß) zur Polarachse bildet (vergl. Bild 4). Auf die Gründe, den Standort trotz der Variation der Umschlagsmenge nicht zu verändern, wurde bereits in den Abschnitten 4.5.5. und 5.4.3. hingewiesen.

Die Ergebnisse der Simulationen mit Fahrzeugen von 4000 kp Nutzlast der Verteilfahrzeuge zeigt die Tabelle A 14, die mit 5000 kp Tabelle A 15.

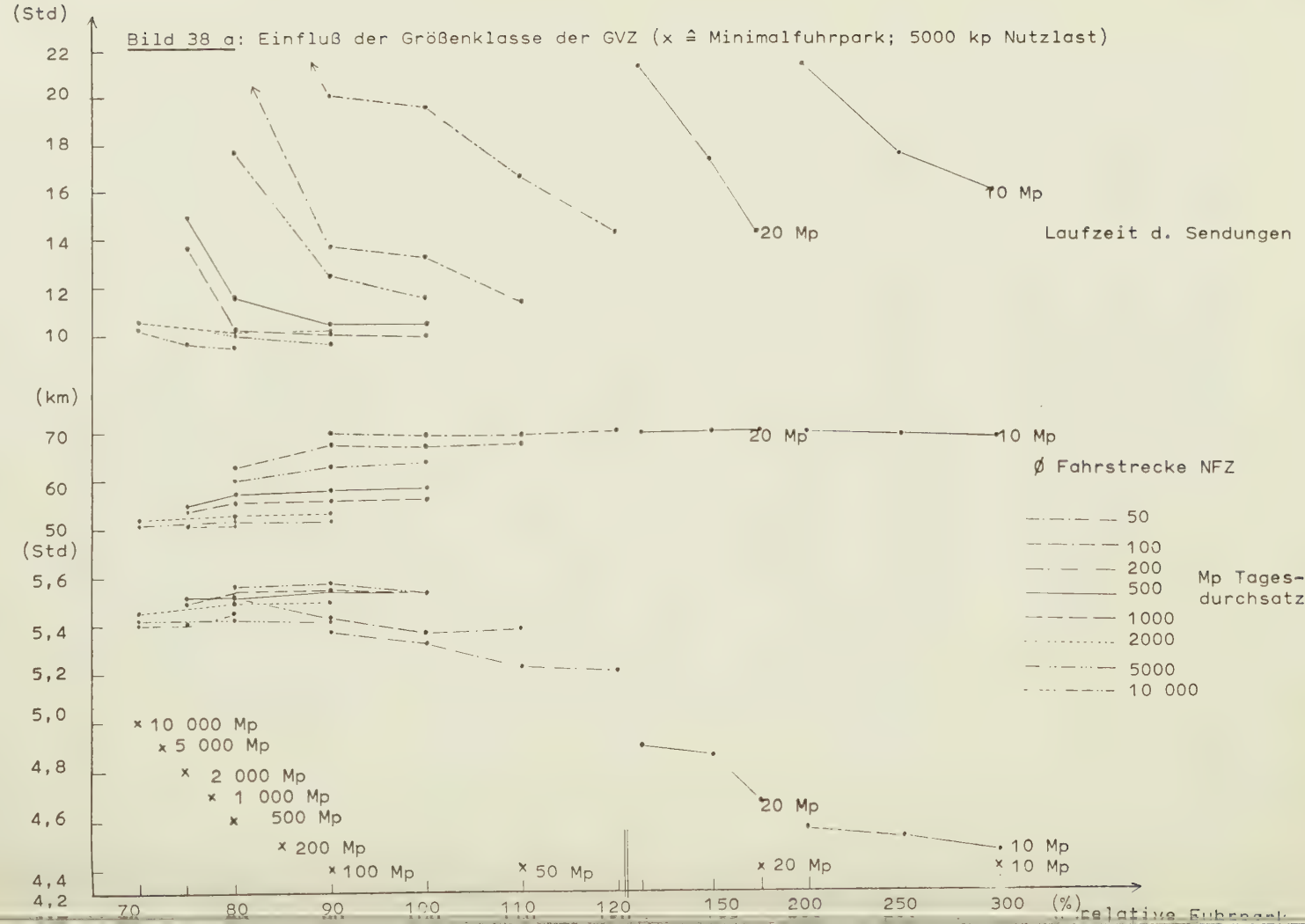
In Bild 38 a und b sind die wichtigsten Ergebnisse der Simulationen mit 5000 kp Nutzlast für die verschiedenen Größenklassen in Abhängigkeit von der Fuhrparkgröße dargestellt.

Es zeigt sich, daß die GVZ-Größen 10 und 20 Mp einen relativ sehr viel größeren Fuhrpark benötigen (300 bzw. 175 %), um die geforderte Verteilleistung erbringen zu können. Hierin zeigt sich, daß derart kleine Betriebseinheiten zur Verteilung von Stückgütern über ein derart großes geographisches Gebiet ungeeignet sind.

Aus diesen Simulationen wurden die minimalen Fuhrparks je GVZ- Größenklasse ermittelt, die folgende Anforderungen erfüllen müssen:

- die Soll-Tagesleistung (≙ GVZ-Klasse) muß an mehreren Tagen nacheinander um mindestens 10 % überschreitbar sein
- die Durchlaufzeit der Sendungen darf 20 Stunden nicht überschreiten, auch wenn die Soll-Leistung um 10% überschritten wird.
- der vorgegebene späteste Rückkehrzeitpunkt der Verteilfahrzeuge muß bei mindestens 90 % der Fahrten eingehalten werden.

Daraus ergeben sich für die verschiedenen Größenordnungen und


(Std)
Bild 38 a: Einfluß der Größenklasse der GVZ (x ≙ Minimalfuhrpark; 5000 kp Nutzlast)
22
20
18
16
14
12
10
10 Mp
20 Mp
Laufzeit d. Sendungen
(km)
70
60
50
20 Mp
10 Mp
Ø Fahrstrecke NFZ
50
100
200
500
1000
2000
5000
10 000
Mp Tages-durchsatz
(Std)
5,6
5,4
5,2
5,0
4,8
4,6
4,4
4,2
× 10 000 Mp
× 5 000 Mp
× 2 000 Mp
× 1 000 Mp
× 500 Mp
× 200 Mp
× 100 Mp
× 50 Mp
20 Mp
10 Mp
× 20 Mp
× 10 Mp
70
80
90
100
110
120
150
200
250
300
(%)
relative Fuhrpark

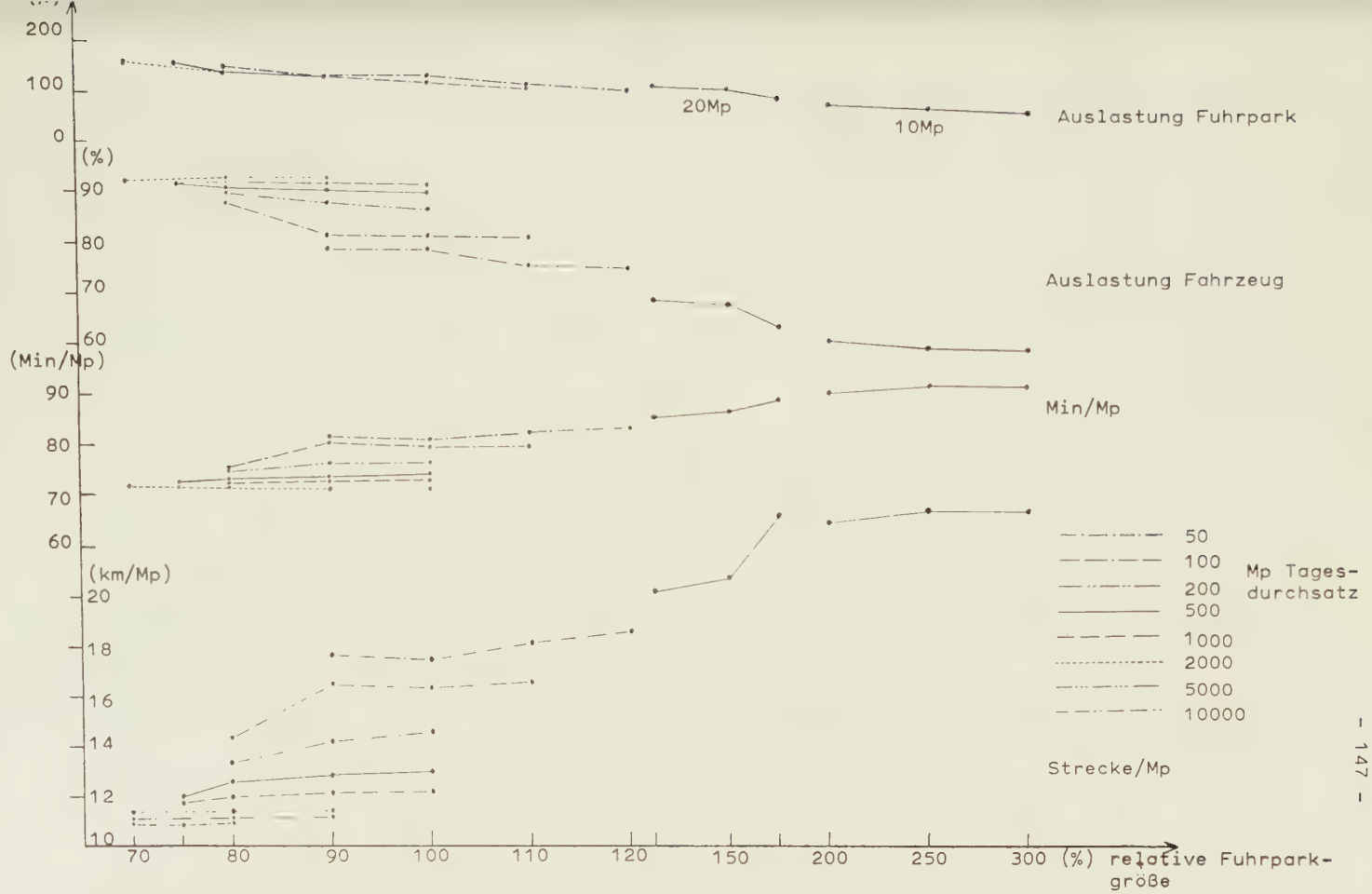


Bild 38 b :Einfluß der Größenklasse der GVZ (5000 kp Nutzlast)

Fahrzeugnutzlasten folgende Minimalfuhrparks:

Tabelle 22: Minimalfuhrparks der GVZ-Klassen mit Fahrzeugen von 4000 und 5000 kp Nutzlast

GVZ-Klasse	4000 kp Nutzlast		5000 kp Nutzlast	
	Anzahl Verteil-Fz.	Relat.Fuhrp. (%)	Anzahl Verteil-Fz.	Relat.Fuhrp. (%)
10	6	240	6	300
20	8	160	7	175
50	11	88	11	110
100	19	75	18	90
200	35	70	34	85
500	81	65	80	80
1 000	156	62,5	155	77,5
2 000	300	60	300	75
5 000	750	60	725	72,5
10 000	1500	60	1400	70

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den Simulationen mit 5000 kp Nutzlast und den Minimalfuhrparks der jeweiligen GVZ-Klasse.

Die Fahrstrecke der einzelnen Verteilfahrzeuge pro Tour nimmt mit wachsender GVZ-Größe ab, wobei die Unterschiede bei den Klassen 2000, 5000 und 10 000 Mp nur noch gering sind: 53,0, 51,3 bzw. 50,3 km Fahrstrecke.

Dei Fahrstrecke bei GVZ-200 beträgt 62,5 km; das sind gegenüber 53,0 bei der GVZ-2000 18 % mehr.

Anders dagegen verhält sich die Zeit, die für eine Route aufgewendet wird: Sie steigt von GVZ 10 bis zur GVZ 500 kontinuierlich an (von 4,46 Std. auf 5,52 Std.) und sinkt dann bis zur GVZ 10 000 wieder leicht ab (5,40 Std.).

Bei den kleineren Größenordnungen liegt die Auslastung der Fahrzeuge wesentlich niedriger als bei den großen (GVZ 50: 75,9 %, GVZ 500: 90,7 %),weil nicht immer genügend Güter vorhanden sind,

um die Verteilfahrzeuge voll zu beladen. Dadurch werden pro Fahrt weniger Abladestellen angefahren, so daß während der Tour geringe Standzeiten auftreten. Dadurch bleibt die Verteilzeit niedrig.

Ab GVZ 500 steigt die Auslastung der Fahrzeuge nur noch geringfügig (GVZ 10 000: 92,1 %). Im Bereich bis GVZ 10 000 macht sich in der Verteilzeit die Verkürzung der Fahrstrecken stärker bemerkbar, als die geringe Auslastungserhöhung. Deshalb der leichte Abfall der Verteilzeiten.

Dieser Verlauf der Ergebnisse bestätigt voll die in Kapitel I aufgeführten Vermutungen, daß bei vergrößertem Gutdurchsatz pro Verkehrsträger die Auslastung der Fahrzeuge und ihre Leistung ansteigen, weil die Wege zwischen den Empfängern kürzer werden. Der Fahrweg pro verteilter Sendung liegt bei 50 Mp Tagesdurchsatz bei 2,60 km, bei 500 Mp 1,79 km und bei 5000 Mp beträgt er 1,58 km (vergl. Bild 39).

Die Durchlaufzeit der Sendungen hat die Tendenz, mit zunehmender GVZ-Größe abzusinken. Lediglich bei 50 Mp Tagesdurchsatz liegt sie höher als bei der vorhergehenden Größenklasse. Die Zeiten liegen zwischen 18,6 Stunden (50 Mp) und 12,2 Stunden (2000 und 10 000 Mp). In den drei obersten Klassen sind die Durchlaufzeiten nahezu gleich.

Die Werte für die Fahrstrecke pro verteilte Gutmenge (km/Mp) und Verteilzeit bezogen auf die Gutmenge sinken ebenfalls mit zunehmender Größe der GVZ ab, wobei die Strecke wesentlich stärker reagiert als die Zeit. Dies erklärt sich aus dem höheren Anteil der Fixzeiten an der Verteilzeit bei den größeren GVZ.

Da die relative Fuhrparkgröße mit zunehmender Größe der GVZ abfällt, wird die erhöhte spezifische Verteilleistung pro Fahrzeug dadurch ermöglicht, daß sich der Umlauffaktor der Fahrzeuge erhöht (vergl. Bild 39). Er liegt bei 50 Mp Tagesleistung bei 1,16 und steigt über 1,38 (500 Mp) auf 1,57 bei 10 000 Mp Durchsatz. Bei den größeren Einheiten können demnach die Fahrzeuge in größerem Umfang mehrmals pro Tag eingesetzt werden. Teilweise

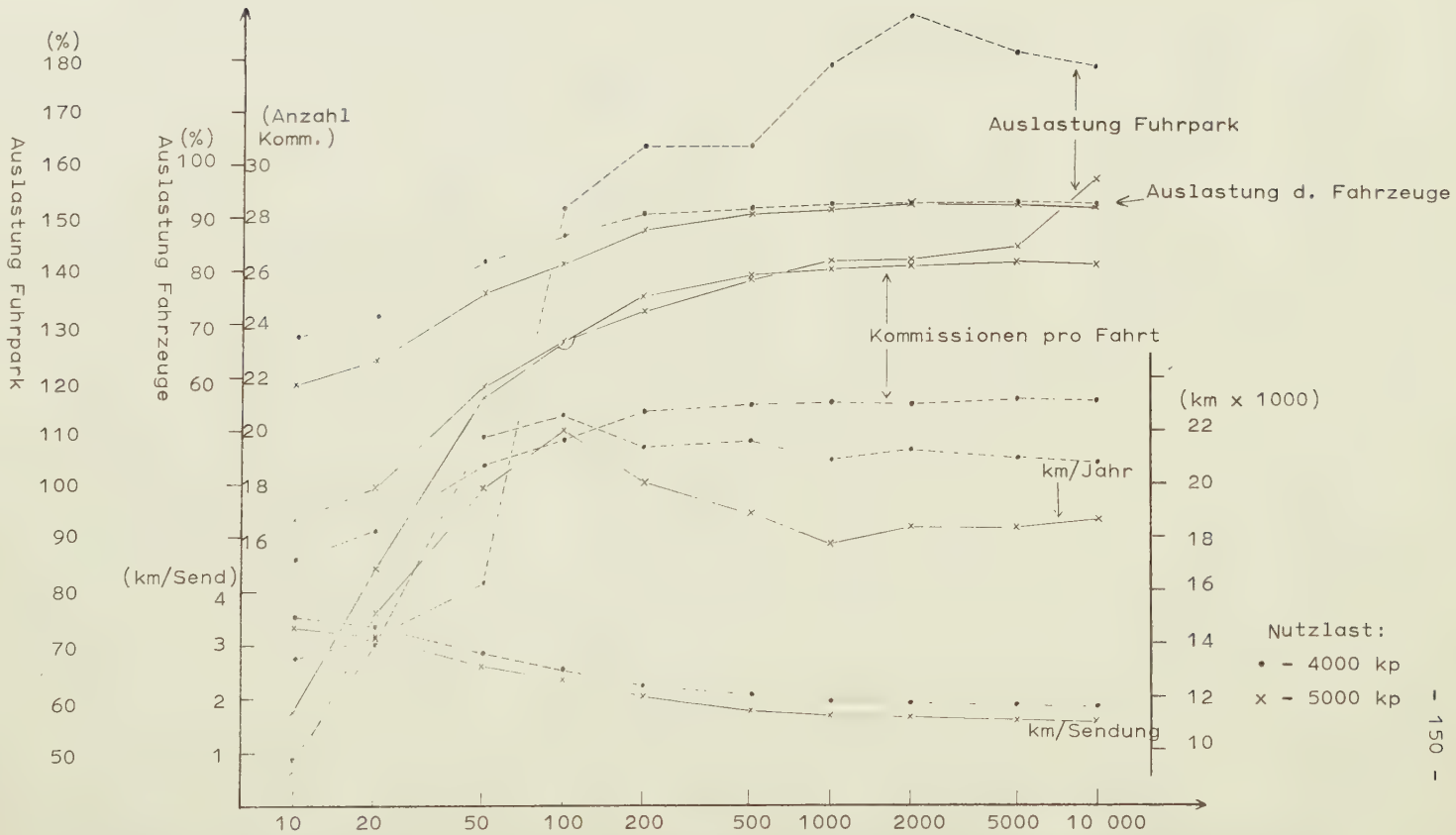


Bild 39: Simulationsergebnisse der Läufe mit dem Minimalfuhrpark der jeweiligen GVZ Größenklasse

deswegen,weil immer genügend Güter zum Verteilen vorhanden sind, wenn die Fahrzeuge ankommen, teilweise deswegen, weil die Fahrzeuge kürzere Zeiten für eine Verteilfahrt benötigen als bei kleineren Klassen.

Bild 39 zeigt einige Kriterienwerte für die Simulationen mit 4000 kp und 5000 kp Nutzlast. Die Werte verhalten sich für beide Varianten in Bezug auf die GVZ-Klasse sehr ähnlich, so daß davon ausgegangen werden kann, daß die soeben gemachten Ausführungen für beide Fahrzeuggrößen Gültigkeit besitzen.

Betrachtet man alle besprochenen Werte im Zusammenhang, so wird deutlich, daß mit zunehmender GVZ-Größe die Verteilung der Güter in einem Ballungsraum effektiver durchgeführt werden kann. Sowohl die Werte für

- die Kilometerleistung der Fahrzeuge
- den Zeitaufwand der Fahrzeuge
- die Durchlaufzeit der Sendungen und
- die relative Fuhrparkgröße

verbessern sich mit zunehmender Größenklasse. Dabei werden jeweils die Bedingungen für Zeitbeschränkungen und Elastizität der Systeme eingehalten.

Gleichzeitig verkleinert sich auch die maximale Zahl der Verteilfahrzeuge, die sich gleichzeitig im Ballungsraum aufhalten:

Tabelle 23: Maximalzahl Verteilfahrzeuge, die sich gleichzeitig im Ballungsraum aufhalten bei verschiedenen GVZ-Größenklassen (Gesamtgutmenge im BR pro Tag: 10 000 Mp)

GVZ-Klasse	Anzahl der Fahrzeuge im Ballungsraum	
	4000 kp Nutzlast	5000 kp Nutzlast
10	4 500	4 500
20	3 850	3 150
50	2 180	2 100
100	1 900	1 760
200	1 750	1 700
500	1 620	1 600
1000	1 560	1 550
2000	1 500	1 500
5000	1 500	1 450
10 000	1 500	1 400

Diese Zahlen sind eine Hochrechnung auf einen Ballungsraum, der ein Gutaufkommen von täglich 10 000 Mp hat und von jeweils gleichgroßen GVZ der jeweiligen Größenklasse versorgt wird.

Bei allen bisher aufgeführten Werten wird deutlich, daß ab GVZ 2000 aufwärts die Verbesserungen nur noch geringen Umfang haben.

Die größten Effekte sind im Größenklassenbereich von 50 Mp bis 500 Mp zu erzielen.

Hierzu nochmals die relevanten Werte (5000 kp Nutzlast):

	50Mp	200Mp	500Mp	2000Mp	10 000Mp
Durchlaufzeit Sendungen (Std)	18,6	15,0	13,5	12,2	12,2
Ø Fahrstrecke pro Sendung (km)	2,60	2,03	1,79	1,64	1,56
Ø Zeit pro verteilte Menge (Min/Mp)	82,5	76,1	73,1	71,1	70,4
Ø Auslastung der Fahrzeuge (%)	75,9	87,7	90,7	92,4	92,1
Umlauffaktor	1,16	1,32	1,30	1,42	1,57
Benötigte Fahrzeuge im BR	2 200	1 700	1 600	1 500	1 400

Beim Vergleich der Werte von 2 000 Mp und 10 000 Mp wird deutlich, daß trotz der 5-fachen Verteilmenge die Verbesserungen in bescheidenem Rahmen bleiben.

5.5.1. Das Verkehrsaufkommen der verschiedenen Alternativen

Der Begriff "Verkehrsaufkommen" wird hier in lokale und globale Größen geteilt.

Unter dem lokalen Verkehrsaufkommen soll die Zahl der Verteilfahrzeuge verstanden werden, die in der Stunde des größten Verkehrsaufkommens (meist zwischen 6.00 Uhr und 7.00 Uhr morgens) im Durchschnitt (über die Simulationsdauer hinweg) die Umschlagsanlage verlassen.

Das globale Verkehrsaufkommen der Alternativen wird gemessen an der maximalen Zahl der Verteilfahrzeuge, die sich gleichzeitig im Ballungsraum befinden. Diese Zahlen werden auf einen Ballungsraum hochgerechnet, der 10 000 Mp Tagesaufkommen an Gütern hat

und von gleich großen GVZ versorgt wird. Als zweite Größe wird die Zahl der gefahrenen Verteilkilometer pro Tag im Ballungsraum herangezogen.

Die Fernfahrzeuge bleiben bei dieser Betrachtung außer Acht.

Tabelle 24: Das Verkehrsaufkommen der verschiedenen GVZ-Größenklassen (Werte für Fahrzeuge imt 5000 kp Nutzlast)

GVZ Klasse	max.Fahrzeugausgang pro Std pro VT	Intervall zw. 2 Ausgängen(Sek)	Fahrzeuge max. i. BR	Øgef.km im BR pro Tag	ØVerteilstd im BR pro Tag
10	1,3	2 727	4 500	233 000	15 200
20	2,5	1 095	3 150	222 000	14 800
50	7,4	485	2 100	182 000	13 750
100	13,6	265	1 760	165 000	13 383
200	28,8	125	1 700	142 000	12 683
500	69,8	52	1 600	126 000	12 183
1 000	139,9	26	1 550	119 000	11 967
2 000	277,6	13	1 500	115 000	11 850
5 000	669,7	5	1 450	111 000	11 833
10 000	1 303,3	3	1 400	109 000	11 733

Die globalen Werte sprechen eindeutig für die größte GVZ-Größenklasse und damit für die möglichst starke Konzentration der Stückgutverteilung.

Bedenklich scheinen jedoch die Werte für das lokale Verkehrsaufkommen um die Umschlagsanlage herum ab der GVZ 2000 zu sein. In der am stärksten belasteten Stunde muß dort alle 13 Sekunden ein Verteilfahrzeug in den Stadtverkehr eingeschleust werden, bei der GVZ 10 000 alle 3 Sekunden. Hinzu kommt noch der Verkehr der Fernfahrzeuge.

Selbst wenn davon ausgegangen werden kann, daß eine gewisse Entzerrung der Ausfahrtzeiten gegenüber der Modellrechnung möglich ist, kann nach Meinung des Verfassers höchstens mit einer Verdoppelung des Zeitintervalls zwischen zwei Ausfahrten der Verteilfahrzeuge in der Praxis gerechnet werden.

Deswegen erscheint es vom lokalen Verkehrsaufkommen um die Umschlagsanlage herum her nicht angebracht, größere GVZ-Einheiten als mit 2000 - 3000 Mp Tagesumschlag zu erstellen, da die reibungslose Anbindung an den Stadtverkehr sonst unmöglich sein dürfte.

Bei einer GVZ 2000 sind cà. 300 Verteilfahrzeuge konzentriert, zuzüglich einer entsprechenden Zahl von Fernfahrzeugen.

Die Umweltbelastungen durch Lärm und Abgase im Bereich der Umschlagsanlage dürften bei noch größeren Größenklassen die Toleranzgrenzen schnell überschreiten.

IV. Diskussion der Simulationsergebnisse

In diesem Kapitel sollen zunächst die Investitionskosten und die Wirtschaftlichkeit der Fuhrparks auf Grund der Simulationsergebnisse für die verschiedenen Alternativen ermittelt werden.

Die Wirtschaftlichkeit wird dabei durch die Höhe der Betriebskosten beurteilt, die entstehen, wenn die Minimalfuhrparks der verschiedenen Alternativen die Stückgutverteilung übernehmen. Dabei werden sowohl die Betriebskosten von Fahrzeugen mit 4000 kp Nutzlast als auch mit 5000 kp Nutzlast ermittelt.

Die Werte der Fuhrparks werden mit den Betriebskosten für den Umschlagsbereich zusammengefaßt, die aus früheren Arbeiten übernommen werden.

Im Zusammenhang mit Gesichtspunkten, die im Modell nicht enthalten sind, und den Ergebnissen der übrigen Simulationen werden dann die Möglichkeiten der Konzentration in der Stückgutverteilung dargestellt.

Bei den Berechnungen wurde wiederum von einem Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesdurchsatz ausgegangen. Werden Angaben für die verschiedenen GVZ-Klassen gemacht, so wurde unterstellt, daß im Ballungsraum nur Verkehrsträger dieser Klasse in entsprechender Zahl tutig sind.

Die Einzelwerte der Simulationen, die diesen Berechnungen zu Grunde liegen, sind in den Tabellen A 14 und A 15 aufgeführt. Die Simulationen sind mit den in Abschnitt 5.5. besprochenen identisch.

6.1. Die Investitionskosten der Fuhrparks

Als Investitionskosten werden hier lediglich die Anschaffungskosten für die Lastwagen angeführt, nicht etwaige Ausbildungs- oder Anwerbungskosten für das Fahrpersonal. Außer acht bleiben auch Fahrzeuge, die als Reserve vorgehalten werden müssen, wenn andere Fahrzeuge ausfallen.

Die Größe "Minimalfuhrpark" stellt die Anzahl Fahrzeuge dar, die ständig einsatzbereit sein müssen.

In Tabelle 25 wurde aus dem jeweiligen Minimalfuhrpark pro Verkehrsträger und der Zahl der (gleich großen) Verkehrsträger, die benötigt werden, um 10 000 Mp Güter pro Tag zu verteilen, die Zahl der im Ballungsraum pro Alternative benötigten Fahrzeuge errechnet,und zwar für 4000 kp und 5000 kp Nutzlast der Fahrzeuge.

Als Verteilfahrzeuge wurden folgende Typen gewählt:

Nutzlast	Type	Anschaffungswert
4095 kp	Fiat 70 F 10	DM 40 000.-
4960 kp	Ford NO912	DM 46 000.-

Die Nutzlast- und Anschaffungswerte wurden aus "Lastauto und Omnibus Katalog 1980" (S. 257 und 265) übernommen.

Tabelle 25: Anzahl benötigter Verteilfahrzeuge und ihre Investitionskosten für einen Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesumschlag unter der Voraussetzung jeweils gleich großer GVZ-Anlagen. (Die Investitionskosten beziehen sich auf den gesamten Ballungsraum)

GVZ-Klasse	Nutzlast(kp)	Zahl GVZ im BR	FZ pro GVZ	FZ im BR	Invetitionskosten (Mio DM)
10	4 000	1 000	6	6 000	240,0
	5 000		6	6 000	276,0
20	4 000	500	8	4 000	160,0
	5 000		7	3 500	161,0
50	4 000	200	11	2 200	88,0
	5 000		11	2 200	101,2
100	4 000	100	19	1 900	76,0
	5 000		18	1 800	82,8
200	4 000	50	35	1 750	70,0
	5 000		34	1 700	78,2
500	4 000	20	81	1 620	64,8
	5 000		80	1 600	73,6
1 000	4 000	10	156	1 560	62,4
	5 000		155	1 550	71,3
2 000	4 000	5	300	1 500	60,0
	5 000		300	1 500	69,0
5 000	4 000	2	750	1 500	60,0
	5 000		725	1 450	66,7
10 000	4 000	1	1 500	1 500	60,0
	5 000		1 400	1 400	64,4

Erwartungsgemäß fällt die Zahl der benötigten Fahrzeuge für den Ballungsraum in den unteren Klassen sehr stark: 2 200 Fahrzeuge bei GVZ 50, 1620 bzw. 1600 Fahrzeuge bei GVZ 500 (-26,4 % bzw. -27,3 %).

Dieser Effekt verlangsamt sich in den größeren Klassen: 1 500 bzw. 1 450 Fahrzeuge bei GVZ 5000 (-7,4 % bzw. -9,4 % gegenüber GVZ 500).

Entsprechend verhalten sich die Investitionskosten, die für den gesamten Ballungsraum ausgewiesen sind.

Durch den geringeren Anschaffungswert der Fahrzeuge mit 4 000 kp Nutzlast liegt diese Variante in den Investitionskosten durchweg günstiger als die mit 5 000 kp Nutzlast,obwohl jeweils mehr Fahrzeuge benötigt werden, um die geforderte Leistung zu erbringen.

Die Differenz in der Zahl der Fahrzeuge liegt allerdings erheblich geringer als nach dem Nutzlastunterschied zu erwarten wäre. Hier wirkt sich die größere "Beweglichkeit" des Fuhrparks mit den kleineren Fahrzeugen positiv aus. Der Nutzlastunterschied wird teilweise durch den höheren Umlauf der Fahrzeuge wettgemacht.

Von den Investitionskosten des Fuhrparks her erweisen sich die großen GVZ-Klassen als eindeutig günstiger als die kleinen, die relativen Kostenvorteile nehmen aber mit zunehmender Größe der GVZ beim Übergang von einer Klasse zur nächsten stark ab.

6.2. Die Betriebskosten des Fuhrparks und des Umschlags

Die Betriebskosten des Fuhrparks setzen sich zusammen aus den Kosten

- für den Betrieb der Fahrzeuge und
- den Personalkosten für die Fahrer.

Die Kosten für die Fahrzeuge wurden aus den Angaben von "Lastauto und Omnibus 1980" (Tabellen 26 und 27) ermittelt,

für die Personalkosten der Fahrer wurden DM 23.- pro Stunde angesetzt, die sich aus einem Grundlohn von DM 13,50 und ca. 70 % Lohnnebenkosten (Urlaub, Überstunden, Sozialleistungen, Spesen etc.) zusammensetzen."Lastauto und Omnibus" geht von Personalkosten in ähnlicher Höhe aus.

Wie bei den Investitionskosten werden dabei die Fahrzeuge und Fahrer, die für Ausfälle zusätzlich vorgehalten werden müssen, nicht berücksichtigt. Die Betriebskosten erstrecken sich nur auf tatsächlich im Einsatz befindliche Fahrzeuge und Fahrer.

Die Tabellen 26 und 27 zeigen die Betriebskostenberechnung der Fahrzeuge mit 4 000 und 5 000 kp Nutzlast (vergl. Lastauto und Omnibus 1980, S. 238 - 242, S. 257 - 258, S. 265 - 266).

Die variablen Kosten werden pro gefahrenen Kilometer berechnet. Der Dieseltreibstoff wurde mit 0,886 DM/l bewertet, was dem heute gültigen Preisniveau bei weitem nicht mehr entspricht. Der Wert wurde trotzdem belassen, da die weitere Preisentwicklung nicht abgesehen werden kann.

Im Gegensatz zu "Lastauto und Omnibus" werden die Fahrzeuge in dieser Arbeit nur zeitabhängig (Lebensdauer) abgeschrieben und nicht zur Hälfte nach der Kilometerleistung, da die Jahresfahrleistungen bei den Verteilfahrzeugen relativ niedrig liegen.

Es ergeben sich für das Verteilfahrzeug mit

- 4 000 kp Nutzlast — 15 220 DM fixe Kosten pro Jahr und 0,287 DM variable Kosten pro km
- 5 000 kp Nutzlast — 17 597 DM fixe Kosten pro Jahr und o,354 DM variable Kosten pro km.

Die Tabellen 28 und 29 zeigen die Zusammenstellung der Betriebskosten für die verschiedenen GVZ-Klassen, hochgerechnet auf einen Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesumschlag (gerechnet mit den Werten des Minimalfuhrparks der jeweiligen Klasse).

Tabelle 26: Kostenberechnung eines Verteilfahrzeugs mit 4000 kp Nutzlast (in Anlehnung an "Lastauto und Omnibus" 1980, S. 257/258)

Typ. FIAT 70 F 10	
Nutzlast	4095 kg
Nutzungsdauer	6 Jahre
Kraftstoffverbrauch	15,0 l/100 km
Laufleistung Reifen	50 000 km
Einsatztage pro Jahr	240
Kaufpreis incl. Zubehör	40 000 DM
Kaufpreis ohne Bereifung	38 728 DM
Reifenpreis (Satz)	1 272 DM
Jahreswerte (fixe Kosten)	
Kapitalverzinsung	2 040 DM
Abschreibung[x]	6 455 DM
KFZ- Steuer	914 DM
Haftpflichtversicherung	1 717 DM
Kaskoversicherung	545 DM
Unterstellung	1 100 DM
Allgem. Verwaltungskosten	1 500 DM
Kosten d. Güternahverkehrs:	
Mehrprämie Haftpflicht	855 DM
" Kasko	94 DM
SUMME KOSTEN PRO JAHR	15 220 DM
Kosten pro km (variable Kosten)	
Kraftstoff	0,133 DM
Schmierstoffe	0,011 DM
Reifenkosten	0,025 DM
Reparaturen etc.	0,118 DM
	0,287 DM

[x]Abschreibung nur zeitabhängig eingerechnet, nicht nach km-Leistung.

Tabelle 27: Kostenberechnung eines Verteilfahrzeug mit 5 000 kp Nutzlast (in Anlehnung an"Lastauto und Omnibus"1980, S. 265/266)

Typ. FORD NO 910	
Nutzlast	4 960 kp
Nutzungsdauer	6 Jahre
Kraftstoffverbrauch	18,0 l/100 km
Laufleistung Reifen	90 000 km
Einsatztage pro Jahr	240
Kaufpreis incl. Zubehör	46 000 DM
Wert ohne Bereifung	43 948 DM
Reifenpreis (Satz)	2 052 DM
Jahreswerte:	
Kapitalverzinsung	2 346 DM
Abschreibung[x]	7 325 DM
KFZ- Steuer	1 215 DM
Haftpflichtversicherung	1 717 DM
Kaskoversicherung	545 DM
Unterstellung (Garage)	1 300 DM
Allgemeine Verwaltungskosten	2 200 DM
Kosten für Güternahverkehr:	
Mehrprämie Haftpflicht	855 DM
" Kasko	94 DM
SUMME KOSTEN PRO JAHR	17 597 DM
Kostenansätze pro km:	
Kraftstoff	0,159 DM
Schmierstoffe	0,013 DM
Reifenkosten	0,023 DM
Reparatur etc.	0,159 DM
	0,354 DM

[x]Abschreibung auf 1.-DM innerhalb 6 Jahren. Geändert gegenüber dem Abschreibungsmodus von"Lastauto und Omnibus".

GVZ Klasse	km/Mp	Min/Mp	Verteil-strecke pro Tag (1000 km)	Verteil-zeit pro Tag(Std)	Økm Jahr/NFZ	Fixkosten pro km (DM)	variable Kosten pro km (DM)	Kosten pro km (DM)	Kosten pro NFZ u.Jahr	Kosten FuP des BR p.a. (Mio DM)	Personal-kosten (Mio DM) p.a.	Betriebs-kosten (Mio DM) p.a.
10	24,5	92,3	245	15 383,3	9 800	1,553	0,287	1,840	18 032	108,2	84,9	193,1
20	23,4	91,0	234	15 166,7	14 040	1,084	0,287	1,371	19 249	77,0	83,7	160,7
50	20,0	85,3	200	14 216,7	21 818	0,698	0,287	0,985	21 491	47,3	78,5	125,8
100	17,9	82,0	179	13 666,7	22 611	0,673	0,287	0,960	21 707	41,2	75,4	116,7
200	15,6	78,3	156	13 050,0	21 394	0,711	0,287	0,998	21 351	37,4	72,0	109,4
500	14,6	76,6	146	12 766,7	21 630	0,704	0,287	0,991	21 435	34,7	70,5	105,2
1 000	13,6	74,8	136	12 466,7	20 923	0,727	0,287	1,014	21 216	33,1	68,8	101,9
2 000	13,3	73,9	133	12 316,7	21 280	0,715	0,287	1,002	21 323	32,0	68,0	100,0
5 000	13,1	74,2	131	12 366,7	20 960	0,726	0,287	1,013	21 236	31,8	68,3	100,1
10 000	13,0	73,9	130	12 316,7	20 800	0,732	0,287	1,019	21 190	31,8	68,0	99,8

Tabelle 28: Berechnung der Betriebskosten des Fuhrparks der verschiedenen GVZ-Größenklassen für Fahrzeuge mit 4 000 kp Nutzlast (Werte für die Fahrzeuge aus Tabelle 26, Personalkosten pro Std : DM 23.- ; 240 Arbeitstage pro Jahr)

NFZ: Nahfahrzeug
FuP: Fuhrpark
BR : Ballungsraum

GVZ Klasse	km/Mp	Min/Mp	Verteil-strecke pro Tag (1000 km)	Verteil-zeit pro Tag(Std)	Økm Jahr/NFZ	Fixkosten pro km (DM)	variable Kosten pro km (DM)	Kosten pro km (DM)	Kosten pro NFZ p.a.	Kosten FuP des BR p.a. (Mio DM)	Personal-kosten (Mio DM) p.a.	Betriebs-kosten (Mio DM) p.a.
10	23,3	91,2	233	15 200,0	9 320	1,888	0,354	2,242	20 895	125,4	83,9	209,3
20	22,2	88,8	222	14 800,0	15 223	1,156	0,354	1,510	22 987	80,4	81,7	162,1
50	18,2	82,5	182	13 750,0	19 855	0,886	0,354	1,240	24 620	54,2	75,9	130,1
100	16,5	80,3	165	13 383,3	22 000	0,800	0,354	1,154	25 388	45,7	73,9	119,6
200	14,2	76,1	142	12 683,3	20 047	0,878	0,354	1,232	24 698	42,0	70,0	112,0
500	12,6	73,1	126	12 183,2	18 900	0,931	0,354	1,285	24 286	38,9	67,2	106,1
1 000	11,9	71,8	119	11 966,7	17 805	0,988	0,354	1,342	23 896	37,0	66,1	103,1
2 000	11,5	71,1	115	11 850,0	18 400	0,956	0,354	1,310	24 104	36,2	65,4	101,6
5 000	11,1	71,0	111	11 833,3	18 372	0,958	0,354	1,312	24 104	35,0	65,3	100,3
10 000	10,9	70,4	109,0	11 733,3	18 635	0,942	0,354	1,296	24 216	33,9	64,8	98,7

Tabelle 29: Berechnung der Betriebskosten des Fuhrparks der verschiedenen GVZ-Größenklassen für Fahrzeuge mit 5 000 kp Nutzlast (Werte für die Fahrzeuge aus Tabelle 27, Personalkosten pro Std: DM 23.- , 240 Arbeitstage pro Jahr

NFZ: Nahfahrzeug

FuP: Fuhrpark

BR : Ballungsraum

Bei der Berechnung der Personalkosten wurde davon ausgegangen, daß pro Fahrzeug ein Fahrer eingesetzt wird. Der Stundenfaktor wird mit der Zahl der Verteilstunden pro Jahr multipliziert. Als bezahlte Stunden des Fahrers gilt die reine Fahrzeit des Fahrzeugs (vergl. Bild 16, von Punkt 11 - 17) incl.eine Stunde Pause am Mittag. Die Bezahlung dieser Stunde gilt als Ausgleich für im Modell nicht erfasste Nebenarbeiten, wie Vorbereiten der Fahrroute, Überprüfung des Fahrzeugs, Rangieren auf dem Gelände der Umschlagsanlage etc..

Wie bei den Investitionskosten sind die Kostenverläufe für die Fahrzeuge in den unteren Klassen mit zunehmender Größenklasse stark abfallend, die Personalkosten weisen einen wesentlich flacheren Verlauf auf. Ab GVZ 2000 fallen die Betriebskosten für den Gesamtballungsraum nur noch unerheblich:

	Betriebskosten (4000 kp Nutzlast)	Betriebskosten (5000 kp Nutzlast)
GVZ 2000	100,0	101,6
GVZ 10 000	99,8 (-0,20 %)	98,7 (-2,85 %)

(in Mio DM pro Jahr)

Dies gilt besonders für den Fuhrpark mit 4000 kp-Fahrzeugen.

Auch bei den Betriebskosten zeigt sich damit der bisher festgestellte Effekt, daß ab einer gewissen Größenordnung die Erhöhung der Durchsatzmenge pro Verkehrsträger allein keine großen Einsparungen mehr erbringen kann.

Interessant scheint der Aspekt zu sein, daß die Verteilung mit den kleineren Fahrzeugen in nahezu allen Größenklassen kostengünstiger ist als mit den größeren. Dabei liegen die Kosten für das Personal über denen des 5000 kp-Nutzlast-Fuhrparks, da die geringere Ladekapazität durch erhöhten Einsatz der Fahrzeuge ausgeglichen wird. Dadurch liegt die Verteilzeit, die im Ballungsraum anfällt, höher.

Dies zeigt sich auch bei den Jahresfahrleistungen, die höher liegen als bei den 5000 kp-Fahrzeugen.

Um sich für oder gegen eine Konzentration in der Stückgutverteilung aussprechen zu können, müssen neben den Kosten für den Fuhrpark auch die Umschlagskosten der verschiedenen Alternativen berücksichtigt werden.

Diese werden aus den Arbeiten von Dornier System (1975) und Doll(1975) übernommen. Die Angaben bei Dornier System beschränken sich leider auf die GVZ-Klassen 500, 1000 und 2000. In der zweiten, angeführten Arbeit werden auch die Klasse GVZ 5000 und GVZ 10 000 kostenmäßig untersucht (vergl. Abschnitte 2.3. und 2.4.). Für die Klassen unter GVZ 500 existieren keine Werte für die Betriebskosten der Umschlagsanlage.

Für die Berechnung der Umschlagsanlage wurden die jeweils kostengünstigsten Layout-Alternativen der Klassen ausgewählt (vergl. Tab. 8 und 9).

Da die Angaben aus dem Jahre 1975 stammen, wurden sie auf das Jahr 1980 mit jährlich 4 % Steigerung hochgerechnet.(siehe Tabelle 30)

Die Unterschiede in den Kostenentwicklungen mit steigender GVZ-Klasse zwischen Dornier System und dem Verfasser dieser Arbeit kommen aus unterschiedlichen Annahmen über die benötigte Lagerfläche in der Umschlagsanlage. Dornier nimmt diese wesentlich kleiner an. Dadurch sinken die Transportwege innerhalb der Halle, wodurch der Einsatz an Betriebsmitteln und Personal wesentlich absinkt.

Welche Annahmen der Praxis näher kommen, kann aus heutiger Sicht nicht mit Sicherheit gesagt werden. Vermutlich werden sich die realistischen Betriebskosten zwischen den beiden Werten bewegen. Allerdings geht auch Dornier System jenseits von 2000 Mp Tagesumschlag von progressiv steigenden Betriebskosten im Umschlagsbereich aus und hat daher diese Alternative kostenmäßig nicht untersucht.

Betrachtet man in Tabelle 30 die Spalte "Betriebskosten gesamt" so zeigt sich, daß diese- sowohl mit den Umschlagskosten von

GVZ Klasse (Mp)	Nutzlast Verteilfahrzeug (kp)	Betriebskosten Fuhrpark (Mio DM)	Betriebskosten + Umschlag DORNIER (Mio DM)	Umschlag DOLL (Mio DM)	Betriebskosten - GESAMT DORNIER (Mio DM)	DOLL (Mio DM)
100	4 000	116,7	-	-	-	-
	5 000	119,6	-	-	-	-
200	4 000	109,4	-	-	-	-
	5 000	112,0	-	-	-	-
500	4 000	105,2	112,6	113,3	218,2	218,5
	5 000	106,1	112,6	113,3	218,7	219,4
1 000	4 000	101,9	105,0	115,5	206,9	217,4
	5 000	103,1	105,0	115,5	208,1	218,6
2 000	4 000	100,0	89,6	116,2	189,6	216,2
	5 000	101,6	89,6	116,2	191,2	217,8
5 000	4 000	100,1	-	131,9	-	232,0
	5 000	100,3	-	131,9	-	232,2
10 000	4 000	99,8	-	153,7	-	253,5
	5 000	98,7	-	153,7	-	252,4

Tabelle 30: Betriebskosten von Güterverteilzentralen verschiedener Größenklassen in einem Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesdurchsatz. (Die Betriebskosten der Umschlagsanlagen wurden aus Dornier System 1975 und Doll 1975 übernommen und mit 4 % p.a. auf 1980 hochgerechnet; Betriebskosten des Fuhrparks aus Tabelle 28 und 29, Angaben pro Jahr)

Dornier als auch von Doll - von der Klasse GVZ 500 bis zur Klasse GVZ 2000 absinken.

Somit läßt sich mit großer Sicherheit sagen, daß bis zur Größenklasse GVZ 2000 die konzentrierte Stückgutverteilung wirtschaftlicher arbeitet als die dezentralisierte.

Ebenso läßt sich ausschließen, daß die Stückgutverteilung mit kleineren Einheiten als GVZ 500 kostengünstiger arbeitet als die größeren Anlagen.

Dies ergibt sich auch aus den Aussagen der beiden Münchner Speditionen, die beide etwa 200 Mp pro Tag umschlagen. Beide erwarten von einem höheren Tagesdurchsatz eine bessere Auslastung ihrer vorhandenen Umschlagsanlagen. Dadurch wird der Übergang zum 3-Schicht-Betrieb ermöglicht und die Investitionen für die Verwaltungsrationalisierung (EDV-Anlage, Programme etc.) auf eine breitere Basis umgelegt.

Daraus folgt, daß von der Kostenseite her der "optimale" Bereich für Stückgutumschlag und -verteilungsanlagen zwischen 500 Mp und 2000 Mp Tagesumschlag liegt. Die Kostenverläufe sind in den Bildern 40 und 41 dargestellt.

6.3. "Für und Wider" die Konzentration der Stückgutverteilung in Ballungsräumen

Die folgenden Ausführungen gelten für Ballungsräume, die im Gutaufkommen ca. 10 000 Mp erreichen und die ähnliche Strukturen (Größe, Sendungen etc.) aufweisen wie der Modellraum. Insbesondere für Ballungsräume, deren Größe und Gutaufkommen von diesen Voraussetzungen abweichen, müssen die Aussagen über die Größenklassen der GVZ entsprechend relativiert werden.

Eindeutig "für" eine möglichst starke Konzentration sprechen die Simulationsergebnisse folgender Entscheidungskriterien (vergl. Abschnitt 3.2.):

- Auslastung der Fahrzeuge
- Auslastung des Fuhrparks (Umlauffaktor)

- Fahrstrecke pro verteilter Gutmenge
- Fahrzeit pro verteilter Gutmenge
- Durchlaufzeit der Sendungen durch das System
- "Globales" Verkehrsaufkommen durch die GVZ im Ballungsraum (gefahrene Verteilkilometer, Maximalzahl der Fahrzeuge, die sich gleichzeitig im Ballungsraum befinden)
- Investitionskosten des Verteilfuhrparks
- Betriebskosten des Verteilfuhrparks
- Umweltbelastung durch Verteilfahrzeuge im Ballungsraum insgesamt
- Energiemengen und -kosten, die bei den Verteilfahrten verbraucht werden.

"Für" eine Konzentration bis zu einer gewissen Grenze sprechen:

- Verkehrsaufkommen in unmittelbarer Nähe einer großen Umschlagsanlage
- lokale Umweltbelastungen, die aus diesem Verkehrsaufkommen resultieren
- Investitions- und Betriebskosten der Umschlagsanlage selbst, die ab einer Größe von ca. 2000 Mp Tagesdurchsatz progressiv ansteigen und die Einsparungen im Fuhrparkbereich aufzehren.

"Gegen" eine Konzentration sprechen:

- die abnehmende Elastizität des Systems mit zunehmender Größenklasse der GVZ (vergl Tab. 17,18)
- wettbewerbspolitische Gründe, die grundsätzlich gegen eine Konzentration anzuführen sind, da diese die Gefahr der Monopolisierung in sich birgt.
- die Einstellung der meisten Verkehrsträger gegen Fusionen, Kooperationen etc.

Diese Kriterien werden im folgenden gegeneinander abgewogen, um eine realistisch Aussage über die Möglichkeiten der Konzentration der Stückgutverteilung zu erhalten:

a.) Das lokale Verkehrsaufkommen der Umschlagsanlage läßt Größenordnungen von 5000 und 10 000 Mp im näheren Stadtgebiet nicht zu. Eine Frequenz von 670 ausfahrenden Verteil-

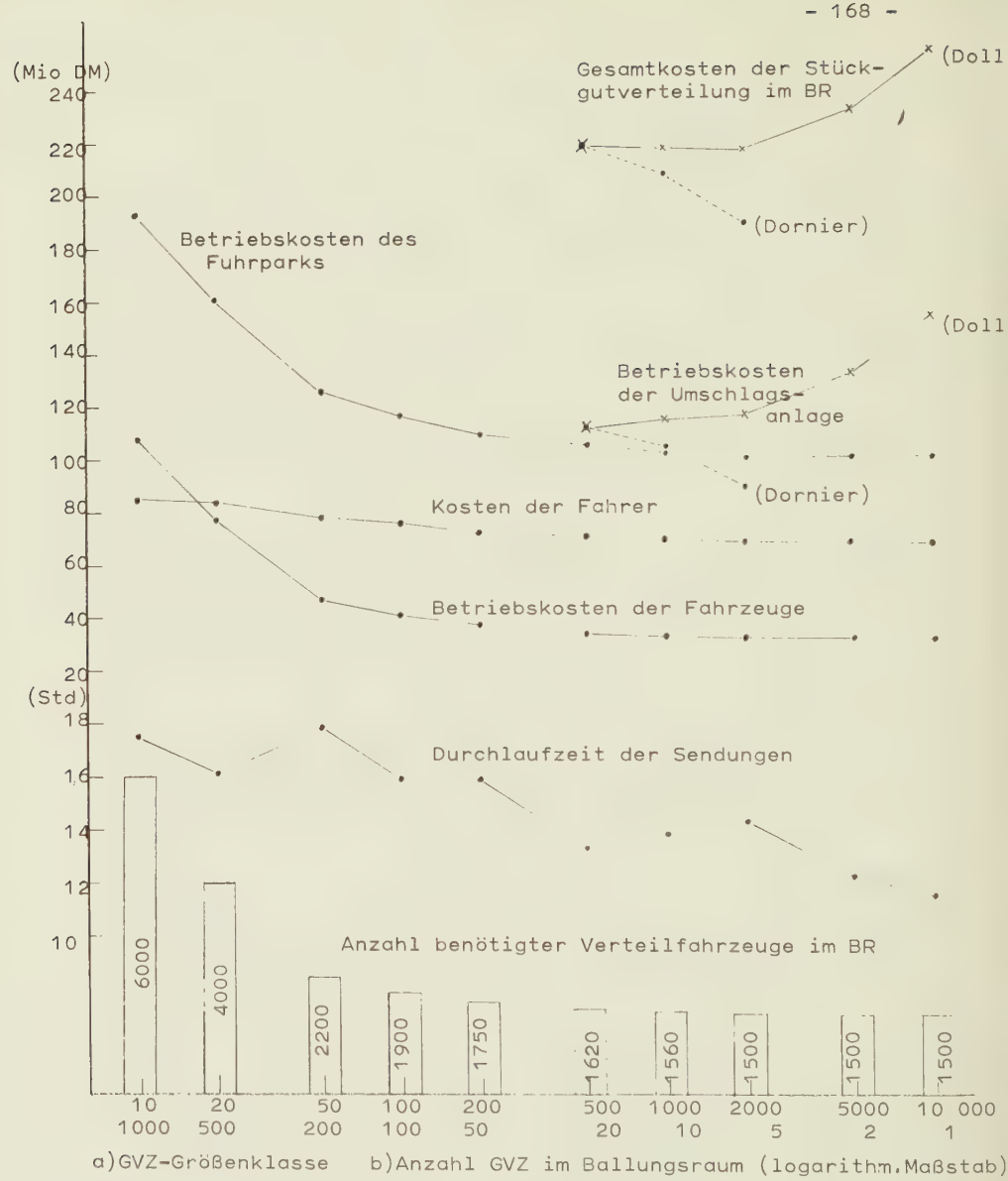


Bild 40: Anzahl benötigter Verteilfahrzeuge im Ballungsraum, Betriebskosten der verschiedenen Teilbereiche und Gesamt pro Jahr für GVZ verschiedener Größenklassen in einem Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesdurchsatz (Nutzlast der Verteilfahrzeuge 4000 kp)
Kosten des Umschlags entnommen aus: Dornier System 1975 und Doll 1975

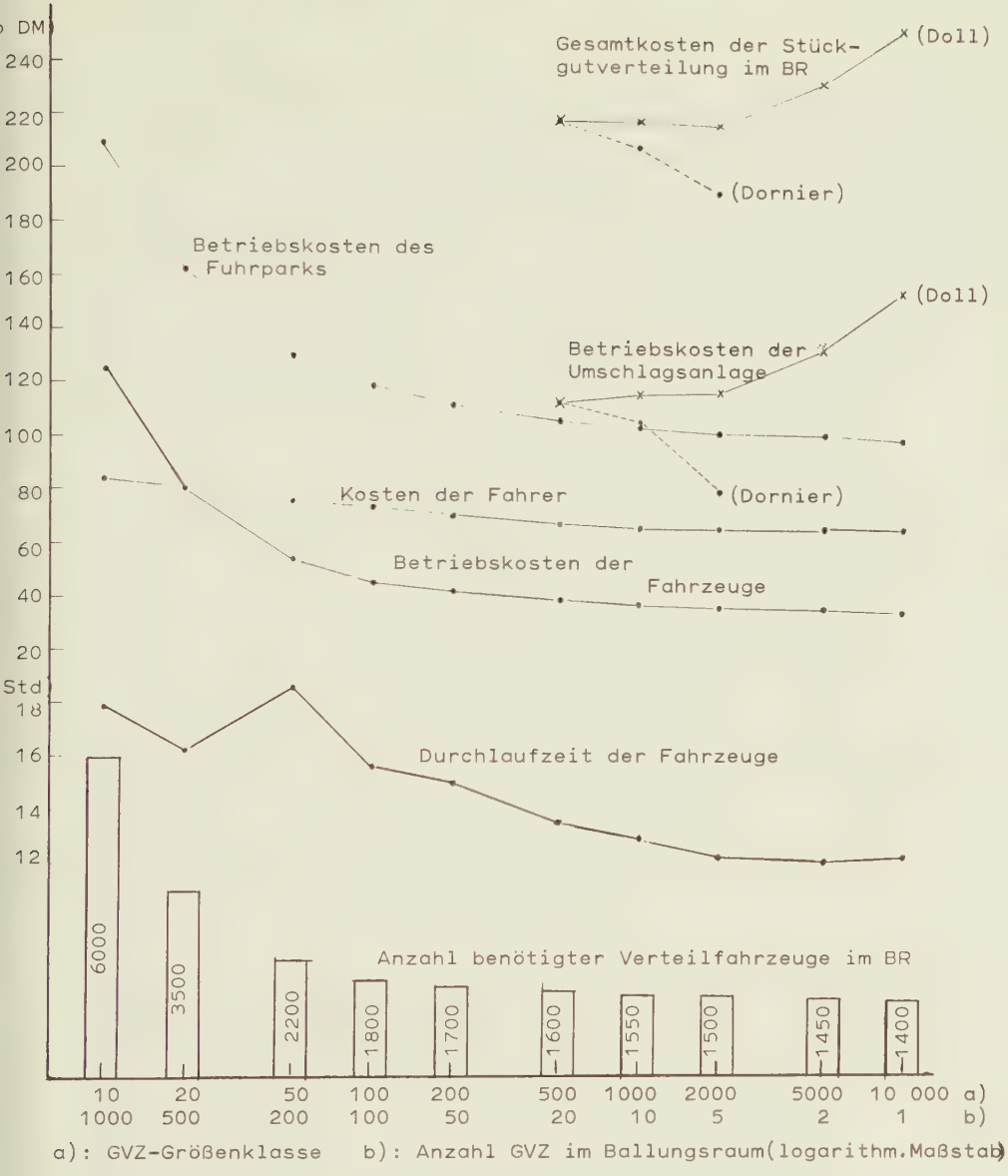


Bild 41: Anzahl benötigter Verteilfahrzeuge im Ballungsraum, Betriebskosten der verschiedenen Teilbereiche und Gesamt pro Jahr für GVZ verschiedener Größenklassen in einem Ballungsraum mit 10 000 Mp Tagesdurchsatz (Nutzlast der Verteilfahrzeuge 5000 kp)

Kosten des Umschlags entnommen aus: Dornier System 1975 und Doll 1975

fahrzeugen pro Stunde in der Spitzenzeit scheint dem Verfasser im Stadtgebiet nicht realisierbar. Hierzu kämen PKW- und Fernfahrzeugverkehr, den die Zentrale verursacht(vergl.Tab.24).

b.) Die spezifischen Umschlagskosten für die GVZ 5000 und 10 000 liegen wesentlich über denen der kleineren GVZ mit 500 - 2000 Mp Umschlag und zehren die Kostenvorteile im Verteilbereich mehr als auf.

c.) Die derzeitige Wirtschaftsordnung der Bundesrepublik Deutschland läßt "totale" Konzentrationen, wie sie die GVZ 5000 10 000 bedeuten würden, nicht zu; abgesehen von der mangelnden Bereitschaft der heutigen Verkehrsträger in so starkem Maße zu kooperieren und zu fusionieren.

Diese drei Gründe schließen die beiden größten GVZ-Klassen völlig aus den weiteren Überlegungen aus.

Die anderen Gründe gegen eine Konzentration sind mit dem Wegfall der beiden obersten Klassen schon stark abgeschwächt.

Bei Anlagen von 2000 Mp, von denen im Ballungsraum fünf notwendig sind, um das Gutaufkommen zu bewältigen, kann noch nicht von Monopolisierung gesprochen werden, wenn auch schon eine derartige Konzentration den Wettbewerb und die Konkurrenzsituation qualitativ stark verändern würde, da sich die Anbieter der Transportleistungen im Angebot sehr ähnlich wären.

Die Elastizität bei einer GVZ 2000 in bezug auf Gutmengenveränderungen kann als ausreichend bezeichnet werden. Die Fuhrparks sind im Modell auf 10 % Mehrleistung ausgelegt. Die Kapazitätsreserven liegen jedoch bei den kleineren Einheiten relativ generell höher als bei den großen.

Damit kristallisiert sich der Bereich der GVZ 500 - GVZ 2000 als derjenige heraus, in dem gegenüber dem jetzigen System der zersplitterten Stückgutverteilung die Konzentration erhebliche Vorteile in der Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit bringt ohne unerträgliche Nebenerscheinungen wie Monopolisierung und Überschreitung lokaler Verkehrskapazitäten.

V. Schlußfolgerungen und Empfehlungen

7.1. Die Untersuchungen der Einflußgroßen der Stückgutverteilung

Die Konzentration der Stückgutverteilung auf weniger und größere Verkehrsträger bringt - wie anfänglich vermutet - eine Verkürzung der Fahrwege zwischen den einzelnen Empfängern mit sich, was die Auslastung und Lieferleistung der Fahrzeuge erhöht. Dadurch werden die spezifischen Kosten der Verteilung deutlich gesenkt.

Im Verlauf der Simulationen zeigte es sich jedoch, daß diese Effekte auch ohne Konzentration erzielt und möglicherweise übertroffen werden können, wenn den Unternehmen bei ihrer jetzigen Größe gelingt, die Abfertigungszeit bei den Empfängern zu vermindern und/oder die Zahl der Sendungen pro Empfänger zu erhöhen:

Durch die Senkung der Abfertigungszeit um eine Minute bei einem Verkehrsträger mit 500 Mp Durchsatz vermindert sich die Verteilzeit stärker, als wenn er seine Tagesleistung auf 10 000 Mp erhöhen wurde (bei gleichbleibender Zahl der Sendungen pro Empfänger). Zudem ließe sich die Verteilung mit einem geringeren Fuhrpark bewerkstelligen. Sehr ähnliche Effekte ergeben sich aus der Zahl der abzuladenden Sendungen pro Empfänger. Hier wirkt sich die Erhöhung von 1,23 auf 1,46 Sendungen pro Empfänger ebenfalls stärker aus als die Erhöhung des Durchsatzes von 500 Mp auf 10 000 Mp.

Die Beeinflussung dieser beiden Größen

- Abfertigungszeit pro Empfänger
- Anzahl der Sendungen pro Empfänger

sind demnach die wichtigsten Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Stückgutverteilung(vergl. Abschn. 5.2.4. und 5.3.2.).

Daneben bringt die Konzentration auf ein eingeschränktes geographisches Gebiet ebenfalls Kostenvorteile, die allerdings nicht so groß ausfallen wie bei den erstgenannten Maßnahmen (Abschn. 5.2.1.). Bei der Akquisition von Neukunden sollte daher das angestammte Gebiet zuerst voll ausgeschöpft werden, bevor neue Regionen erschlossen werden.

Der Standort der Umschlagsanlage ist nach Möglichkeit nahe dem Stadtkern zu wählen, wenn die Verteilregion in etwa konzentrisch um den Mittelpunkt angeordnet ist. Sollten eindeutige Präferenzen für bestimmte Gebiete bestehen, so liegt die Umschlagsanlage am kostengünstigsten im Schwerpunkt dieser Gebiete (Abschn. 5.4.3.).

Die Geschwindigkeit, die im Ballungsraum erzielbar ist, hat auf die Verteilleistung keinen bestimmenden Einfluß, sofern es sich nicht um extreme Verhältnisse mit langen Staus handelt. Der Anteil der Fahrzeit bei einer Verteiltour ist ziemlich gering, so daß sich seine Veränderung nicht stark auswirkt (Abschn. 5.2.2.).

Gleiches gilt für die Straßenführungen im Ballungsraum: die Fahrstrecken zwischen den einzelnen Empfängern beeinflussen die Fahrzeiten ebenfalls nicht sehr stark (Abschn. 5.3.1.).

Die Wahl der Größe der richtigen Verteilfahrzeuge hängt in aller Regel von dem Durchschnittsgewicht der zu befördernden Sendungen ab. Für schwere Güter sind Fahrzeuge mit höherer Nutzlast wirtschaftlicher, für leichte Güter Fahrzeuge mit geringerer Nutzlast. Wie die Kostenberechnungen zeigen, sind bei typischem Stückgut mit ca. 140 kp Durchschnittsgewicht pro Sendung Fahrzeuge mit 4000 kp und 5000 kp nahezu gleich wirtschaftlich (vergl. Abschn. 6.2.).

Größere Fahrzeuge sind meist nicht einsetzbar, da sie mit Führerschein Klasse II gefahren werden müssen, den nur ein geringer Teil der Fahrer besitzt und die Fahrzeuge für den Stadtverkehr ungeeignet sind.

7.2. Konzentrationsmöglichkeiten:

Im Abschnitt 6.3. wurde bereits ausgeführt, daß Einheiten mit mehr als 2000 Mp Tagesumschlag nicht realisierbar erscheinen.

Die heutige Betriebsgröße der Stückgutverteiler liegt um ein Vielfaches unter dieser Obergrenze.

Das Wachstum einzelner kapitalkräftiger Unternehmen, die die Vorteile der Größeneffekte ausnützen können, zwingt auch die anderen Verkehrsträger zu einer Konzentration durch eigenes Wachstum, Fusion oder Kooperation.

Dornier System und Dorsch Consult gehen von einer Konzentration durch Kooperation aus. Um bei Kooperationen die größtmöglichen Effekte in der Verteilung zu erzielen, sollten folgende Hinweise beachtet werden:

- Durch das Kooperieren von Unternehmen mit gleichem oder stark überschnittenem Kundenkreis werden die größten Kosteneinsparungen erzielt, weil die Zahl der Sendungen pro Empfänger steigt.
- Verteilen zwei Unternehmen im selben Gebiet ohne Kundenüberschneidungen, fallen die Entfernungen zwischen den Empfängern besonders stark.
- Die Güterstrukturen der kooperierenden Unternehmen sollten ähnlich sein. Extreme Unterschiede des Durchschnittsgewichts können verhindern, daß die Verteilung der Güter beider Unternehmen mit demselben Fuhrpark wirtschaftlich möglich ist. Zum Beispiel wäre es unsinnig, Pakete der Post in einem großen Ballungsraum zusammen mit dem Stückgut einer Spedition verteilen zu wollen. Mit der großen Zahl der leichten Pakete könnten die Verteilfahrzeuge der Spedition nicht ausgelastet werden, andererseits könnten die kleinen Fahrzeuge der Post das Stückgut nicht transportieren. Die Folge wäre, daß mehrere Fahrzeuge des selben Verkehrsträgers in einem Sektor operieren müßten, wie es schon vor der Kooperation der Fall war.
- Die Bundesbahn sollte möglichst an einer solchen Kooperation beteiligt werden. Einerseits paßt das Stückgut mit einem Durchschnittsgewicht von ca. 100 kp gut zu den Gutstrukturen der Speditionen. Andererseits könnte dadurch der "kombinierte" Verkehr im Fernbereich zusätzlichen Auftrieb bekommen. Die besuchten Münchner Speditionen benutzen den "Huckepackverkehr" schon mit großem Erfolg auf den großen Fernstrecken. Voraussetzung für eine Einbeziehung der Bundesbahn wäre der Verzicht auf die Ausnützung ihrer Monopolstellung zur

Verschlechterung der Leistungsfähigkeit der Stückgutverteilung.

Auch wenn die einzelnen Verkehrsunternehmer - wie sich öfter gezeigt hat - im Grundelieber selbständig bleiben möchten und irgendwelchen engeren Bindungen skeptisch gegenüberstehen, wird in Zukunft der wirtschaftliche Zwang der Kostenerhöhungen von vor allem Personal- und Treibstoffkosten die Zahl der Kooperationen im Verkehrsgewerbe stark ansteigen lassen. Mit der zunehmenden Größe der Betriebseinheiten wird sich die Idee der Güterverteilzentrale sicherlich stärker durchsetzen als bisher.

Die wirtschaftlichen Vorteile der Konzentration der Stückgutverteilung sind unbestritten, solange dadurch nicht Monopole und bürokratisierte Betriebseinheiten entstehen. In den Kooperationen muß die Beweglichkeit und Leistungsfähigkeit der derzeitig relativ kleinen Betriebe erhalten bleiben.

VI. Anhang:

Tabellen der Einzelergebnisse der Simulationsläufe

Tabelle A 1 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses von Simulationsdauer und Startzahl des Zufallsgenerators auf die Stabilität der Ergebnisse (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	554,8	506,1	542,5	457,0	
Prozentabweichung v.Soll	10,96	1,22	8,50	-8,47	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	540,6	477,8	531,2	466,1	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	
Startwert Zufalls-Gener.	1397	4711	5237	1111	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	59.9	59,6	60,5	60,9	
Verweilzeit (Std)	4,35	4,35	4,40	4,45	
Strecke pro Mp (km)	2,96	2,94	2,99	3,01	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	587	534	583	526	
Auslastung Fahrz. (%)	92,1	89,5	91,1	88,6	
Sendungen pro Fahrt	31,4	31,5	32,1	32,3	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,46	5,54	5,53	5,57	
max. Fahrzeit (Std)	8,86	9,21	9,16	8,86	
Ø Fahrstrecke (km)	56,2	59,2	55,8	56,7	
max. Fahrstrecke (km)	107,8	141,6	123,8	130,7	
Laufzeit I Send. (Std)	8,7	7,9	9,5	11,2	
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2	4,2	
Laufzeit Gesamt (Std)	12,9	12,1	13,7	15,5	
Auslastung Fuhrp. (%)	147,1	133,8	145,8	131,5	
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,2	13,2	12,2	12,8	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	71,1	74,2	72,8	75,4	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,30	10,70	10,09	10,18	
Anzahl Ausgangssend.	18428	16819	18719	17006	
Verteilstr./Send. (km)	1,79	1,88	1,74	1,75	
Lauf - Nummer	34	35	36	37	
Datum	20.1.80	20.1.80	20.1.80	20.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	42,12	33,72	41,45	40,17	
Simulationsdauer (Tage)	5	5	5	5	

Tabelle A 1 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses von Simulationsdauer und Startzahl des Zufallsgenerators auf die Stabilität der Ergebnisse (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)		500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)		526,6	498,0	546,4	475,8
Prozentabweichung v.Soll		5,32	-0,40	9,27	-4,83
Sendungsausgang/Tag (Mp)		533,5	501,5	548,9	467,4
Anzahl Verteilfahrzeuge		80	80	80	80
Fuhrparkgröße relat. (%)		80	80	80	80
Startzahl Zufalls-Gener.		1397	4711	5237	1111
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)		60,2	59,9	60,0	60,7
Verweilzeit (Std)		4,36	4,37	4,39	4,43
Strecke pro Mp (km)		2,97	2,96	2,96	3,00
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgange		1164	1109	1206	1043
Auslastung Fahrz. (%)		91,7	90,4	91,0	89,6
Sendungen pro Fahrt		31,4	31,5	32,1	32,1
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)		5,48	5,52	5,52	5,55
max. Fahrzeit (Std)		9,30	9,21	9,16	9,40
Ø Fahrstrecke (km)		57,0	57,7	55,6	57,1
max. Fahrstrecke (km)		137,4	141,6	123,8	131,2
Laufzeit I Send. (Std)		9,2	9,5	10,7	10,5
Laufzeit II Send. (Std)		4,2	4,2	4,2	4,2
Laufzeit Gesamt (Std)		13,4	13,7	14,9	14,7
Auslastung Fuhrp. (%)		145,5	138,8	150,8	130,5
Strecke/Gew. (km/Mp)		12,4	12,8	12,2	12,7
Zeit/Gewicht (Min/Mp)		71,7	73,2	72,8	74,3
Ø Geschwindigkeit (kmh)		10,40	10,45	10,05	10,29
Anzahl Ausgangssend.		36535	34922	38683	33447
Verteilstr./Send. (km)		1,82	1,83	1,73	1,78
Lauf - Nummer		31	32	33	33/II
Datum		20.1.80	20.1.80	20.1.80	20.1.80
Rechenzeit (Sek.)		60,22	53,30	66,32	56,56
Simulationsdauer (Tage)		10	10	10	10

Tabelle A 1 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses von Simulationsdauer und Startwert des Zufallsgenerators auf die Stabilität der Ergebnisse (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	507,7	538,6	542,7	477,8	
Prozentabweichung v.Soll	1,54	7,71	8,55	-4,45	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	510,0	525,9	544,2	466,0	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	
Startwert Zufalls-Gener.	1397	4711	5237	1111	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,1	60,1	60,1	60,6	
Verweilzeit (Std)	4,37	4,36	4,39	4,43	
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,96	2,97	2,99	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	1680	1737	1794	1565	
Auslastung Fahrz. (%)	91,1	90,8	91,0	89,3	
Sendungen pro Fahrt	31,5	31,6	32,0	32,0	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,50	5,52	5,52	5,55	
max. Fahrzeit (Std)	9,30	9,21	9,20	9,40	
Ø Fahrstrecke (km)	57,3	57,3	55,8	57,6	
max. Fahrstrecke (km)	137,4	141,6	133,6	133,8	
Laufzeit I Send. (Std)	9,2	9,2	9,8	9,6	
Laufzeit II Send. (Std)	4,1	4,2	4,2	4,2	
Laufzeit Gesamt (Std)	13,3	13,4	14,0	13,8	
Auslastung Fuhrp. (%)	140,1	144,9	149,6	130,4	
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,6	12,6	12,3	12,9	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	72,5	72,9	72,7	74,9	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,41	10,37	10,12	10,37	
Anzahl Ausgangssend.	52911	54950	57356	50018	
Verteilstr./Send. (km)	1,82	1,81	1,79	1,80	
Lauf - Nummer	34	35	36	37	
Datum	20.1.80	20.1.80	20.1.80	20.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	74,24	76,47	87,01	71,28	
Simulationsdauer (Tage)	15	15	15	15	

Tabelle A 1 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses von Simulationsdauer und Startzahl des Zufallsgenerators auf die Stabilität der Ergebnisse (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	518,4	505,1	524,6	469,9	
Prozentabweichung v.Soll	3,67	1,03	4,92	-6,05	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	526,7	508,3	524,8	469,8	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	
Startzahl Zufalls-Gener.	1397	4711	5237	1111	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,1	60,1	60,0	60,5	
Verweilzeit (Std)	4,37	4,36	4,39	4,42	
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,97	2,96	2,99	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	2308	2253	2312	2092	
Auslastung Fahrz. (%)	91,3	90,2	90,8	89,8	
Sendungen pro Fahrt	31,7	31,3	31,9	31,9	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,49	5,48	5,52	5,56	
max. Fahrzeit (Std)	9,30	9,21	9,16	9,70	
Ø Fahrstrecke (km)	56,3	57,4	56,3	57,8	
max. Fahrstrecke (km)	137,4	141,6	133,6	146,4	
Laufzeit I Send. (Std)	9,9	9,3	9,6	9,4	
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2	4,2	
Laufzeit Gesamt (Std)	14,1	13,5	13,8	13,6	
Auslastung Fuhrp. (%)	144,3	140,8	144,5	130,8	
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,3	12,7	12,4	12,9	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	72,2	72,9	72,9	74,3	
Ø Geschwindigkeit (km/h)	10,26	10,46	10,19	10,40	
Anzahl Ausgangssend.	73065	70536	73822	66767	
Verteilstr./Send. (km)	1,78	1,83	1,76	1,81	
Lauf - Nummer	46	45	44	38	
Datum	20.1.80	20.1.80	20.1.80	20.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	101,16	90,82	101,17	89,69	
Simulationsdauer (Tage)	20	20	20	20	

Tabelle A 1 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses von Simulationsdauer und Startzahl des Zufallsgenerators auf die Stabilität der Ergebnisse (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	508,0	492,0	519,3	477,3	
Prozentabweichung v.Soll	1,60	-1,60	3,86	-4,54	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	508,3	494,1	524,6	476,7	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	
Startzahl Zufalls-Gener.	1397	4711	5237	1111	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,1	60,1	60,0	60,6	
Verweilzeit (Std)	4,37	4,37	4,39	4,41	
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,97	2,96	2,99	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	3359	3284	3464	3176	
Auslastung Fahrz. (%)	90,8	90,3	90,9	90,1	
Sendungen pro Fahrt	31,7	31,4	31,9	31,7	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,50	5,49	5,52	5,54	
max. Fahrzeit (Std)	9,30	9,81	9,21	9,70	
Ø Fahrstrecke (km)	56,1	57,5	56,2	57,8	
max. Fahrstrecke (km)	137,4	141,6	143,4	146,4	
Laufzeit I Send. (Std)	9,6	9,2	9,7	9,0	
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,1	4,2	4,2	
Laufzeit Gesamt (Std)	13,8	13,3	13,9	13,2	
Auslastung Fuhrp. (%)	140,0	136,9	144,3	132,3	
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,5	12,7	12,4	12,8	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	72,7	73,0	72,9	73,8	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,33	10,47	10,20	10,44	
Anzahl Ausgangssend.	106389	103004	110387	100748	
Verteilstr./Send. (km)	1,79	1,83	1,77	1,82	
Lauf - Nummer	40	39	39/II	38	
Datum	20.1.80	20.1.80	20.1.80	20.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	134,76	121,71	141,08	120,05	
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30	30	

Tabelle A 1 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses von Simulationsdauer und Startzahl des Zufallsgenerators auf die Stabilität der Ergebnisse (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	[illegible]	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	[illegible]	490,0	513,0	475,9	
Prozentabweichung v.Soll	-0,60	-2,00	2,61	-4,81	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	[illegible]	490,0	515,1	475.1	
Anzahl Verteilfahrzeuge	[illegible]	80	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	
Startzahl Zufallsgener.	[illegible]	4711	5237	1111	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60.2	60.2	60.1	60,5	
Verweilzeit (Std)	4,39	4,38	4,40	4,40	
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,98	2,97	2.99	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	[illegible]	4342	4536	4222	
Auslastung Fahrz. (%)	[illegible]	[illegible]	90,8	90,0	
Sendungen pro Fahrt	[illegible]	[illegible]	32,0	31,7	
ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,52	5,52	5,53	5,53	
max. Fahrzeit (Std)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
ø Fahrstrecke (km)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
max. Fahrstrecke (km)	139,4	[illegible]	143,4	[illegible]	
Laufzeit I Send. (Std)	[illegible]	[illegible]	10,1	[illegible]	
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2	4,2	
Laufzeit Gesamt (Std)	[illegible]	[illegible]	14,3	[illegible]	
Auslastung Fuhrp. (%)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,6	[illegible]	12,1	[illegible]	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,1	73,3	[illegible]	[illegible]	
ø Geschwindigkeit (kmh)	10,32	10,49	10,21	10,43	
Anzahl Ausgangssend.	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
Verteilstr./Send. (km)	1,79	1,84	[illegible]	1,82	
Lauf - Nummer	15	41	42	43	
Datum	7.1.80	20.1.80	20.1.80	[illegible]	
Rechenzeit (Sek.)	167,0	151,14	[illegible]	[illegible]	
Simulationsdauer (Tage)	40	40	[illegible]	40	

Tabelle A 2 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Fläche des Ballungsraumes (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	497,3	499,1	482,3	530,6	
Prozentabweichung v.Soll	-0,53	-0,19	-3,53	6,13	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	498,3	500,6	484,5	525,0	
Anzahl Verteilfahrzeuge	81	81	81	81	
Fuhrparkgröße relat. (%)	65	65	65	65	
Durchmesser Ballungsr(km)	15	20	25	30	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	36,5	48,5	60,0	72,2	
Verweilzeit (Std)	3,86	4,14	4,39	4,67	
Strecke pro Mp (km)	1,80	2,39	2,96	3,57	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4078	4097	3964	4262	
Auslastung Fahrz. (%)	91,7	91,6	91,7	92,4	
Sendungen pro Fahrt	25,7	25,8	25,8	26,1	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,41	4,61	4,68	5,00	
max. Fahrzeit (Std)	8,53	8,61	9,17	9,39	
Ø Fahrstrecke (km)	35,8	44,4	53,6	60,9	
max. Fahrstrecke (km)	89,9	113,5	134,1	153,1	
Laufzeit I Send. (Std)	8,8	10,4	9,6	11,5	
Laufzeit II Send. (Std)	3,5	3,7	3,7	3,9	
Laufzeit Gesamt (Std)	12,1	14,1	13,3	15,4	
Auslastung Fuhrp. (%)	167,8	168,6	163,2	175,4	
Strecke/Gew. (km/Mp)	9,8	12,1	14,6	16,5	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	72,1	75,4	76,6	81,2	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	8,12	9,63	11,45	12,19	
Anzahl Ausgangssend.	104687	105697	102329	111035	
Verteilstr./Send. (km)	1,39	1,72	2,08	2,39	
Lauf - Nummer	152	152/II	126	153/II	
Datum	15,4,80	15.4.80	18.3.80	15.4.80	
Rechenzeit (Sek.)	160,9	182,19	157,60	215,62	
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30	30	

Tabelle A 2 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Fläche des Ballungsraumes (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500			
Sendungseingang/Tag (Mp)	525,9	510,3			
Prozentabweichung v.Soll	5,19	2,05			
Sendungsausgang/Tag (Mp)	529,8	502,7			
Anzahl Verteilfahrzeuge	81	88			
Fuhrparkgröße relat. (%)	65	70			
Durchmesser Ballungsr(km)	35	35			
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	84,2	84,3			
Verweilzeit (Std)	4,91	4,17			
Strecke pro Mp (km)	4,16	4,17			
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4296	4111			
Auslastung Fahrz. (%)	92,5	91,7			
Sendungen pro Fahrt	25,9	25,5			
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,11	5,18			
max. Fahrzeit (Std)	9,67	9,64			
Ø Fahrstrecke (km)	67,3	71,9			
max. Fahrstrecke (km)	128,4	179,8			
Laufzeit I Send. (Std)	21,0	10,5			
Laufzeit II Send. (Std)	4,0	4,0			
Laufzeit Gesamt (Std)	25,0	14,5			
Auslastung Fuhrp. (%)	176,8	155,8			
Strecke/Gew. (km/Mp)	18,2	19,6			
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	82,9	34,8			
Ø Geschwindigkeit (kmh)	13,17	13,87			
Anzahl Ausgangssend.	111264	104947			
Verteilstr./Send. (km)	2,60	2,81			
Lauf - Nummer	153	154			
Datum	15.4.80	15.4.80			
Rechenzeit (Sek.)	238,80	174,14			
Simulationsdauer (Tage)	30	30			

belle A 3 : Läufe zur Untersuchung der Einflüsse der Geschwindigkeit im Ballungsraum
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)	509,1	569,5	528,8	489,0	515,8
Prozentabweichung v.Soll	1,81	13,90	5,75	-2,21	3,16
Sendungsausgang/Tag (Mp)	507,6	569,1	510,5	490,6	522,4
Anzahl Verteilfahrzeuge	81	81	81	81	81
Fuhrparkgröße relat. (%)	65	65	65	65	65
Geschwindigkeitserhöhung	10%	20%	20%	20%	20%
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	59,9	60,1	59,9	60,3	60,5
Verweilzeit (Std)	4,25	4,14	4,13	4,16	4,15
Strecke pro Mp (km)	2,96	2,96	2,96	2,99	2,99
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4141	4614	2773	2679	2831
Auslastung Fahrz. (%)	91,9	92,5	92,0	91,6	92,3
Sendungen pro Fahrt	25,9	25,9	25,8	26,0	25,9
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,69	4,52	4,56	4,61	4,65
max. Fahrzeit (Std)	8,94	8,85	8,74	8,52	8,98
Ø Fahrstrecke (km)	52,9	50,2	52,6	53,5	53,4
max. Fahrstrecke (km)	116,7	116,3	135,5	140,8	130,5
Laufzeit I Send. (Std)	11,1	18,8	10,8	9,1	9,8
Laufzeit II Send. (Std)	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Laufzeit Gesamt (Std)	14,8	22,5	14,5	12,8	13,5
Auslastung Fuhrp. (%)	170,4	189,9	171,2	165,4	174,8
Strecke/Gew. (km/Mp)	14,4	13,6	14,3	14,6	14,5
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	76,5	73,3	74,4	75,6	75,5
Ø Geschwindigkeit (kmh)	11,28	11,09	11,53	11,61	11,50
Anzahl Ausgangssend.	107373	119497	71536	69648	73294
Verteilstr./Send. (km)	2,04	1,94	2,04	2,06	2,06
Lauf - Nummer	155	156	157	158	159
Datum	15.4.80	16.4.80	19.4.80	19.4.80	19.4.80
Rechenzeit (Sek.)	186,99	259,56	133,80	123,93	134,93
Simulationsdauer (Tage)	30	30	20	20	20

(Standardlauf : Nr.126 vom 18.3.80, siehe Tabelle A14)

Tabelle A 4 : Läufe zur Untersuchung der Einflüsse der Sendungsstruktur SWS I

(SWS II siehe Tabelle A15.6, Läufe 14-17)

(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)	522,0	484,9	495,5	493,1	494,8
Prozentabweichung v.Soll	4,39	-3,01	-0,90	-1,39	-1,04
Sendungsausgang/Tag (Mp)	516,5	485,7	494,7	491,9	492,0
Anzahl Verteilfahrzeuge	60	70	80	90	100
Fuhrparkgröße relat. (%)	60	70	80	90	100
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,2	60,1	60,4	60,2
Verweilzeit (Std)	3,81	3,81	3,82	3,82	3,83
Strecke pro Mp (km)	2,98	2,97	2,97	2,98	2,97
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgange	4405	4223	4303	4313	4315
Auslastung Fahrz. (%)	93,8	91,9	92,0	91,2	91,2
Sendungen pro Fahrt	23,6	23,2	23,1	23,0	23,1
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,41	4,42	4,42	4,42	4,44
max. Fahrzeit (Std)	8,83	8,97	9,26	8,73	8,75
Ø Fahrstrecke (km)	52,5	54,7	55,2	55,8	55,5
max. Fahrstrecke (km)	116,6	129,8	131,4	142,2	134,0
Laufzeit I Send. (Std)	13,1	9,0	8,4	8,2	8,1
Laufzeit II Send. (Std)	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3
Laufzeit Gesamt (Std)	16,5	12,4	11,7	11,5	11,4
Auslastung Fahrz. (%)	183,5	151,0	134,5	119,8	107,9
Strecke/Gew. (km/Mp)	11,2	11,9	12,0	12,2	12,2
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	56,5	57,7	57,7	58,2	58,4
Ø Geschwindigkeit (kmh)	11,9	12,39	12,48	12,61	12,51
Anzahl Ausgangssend.	104070	97970	99438	98986	99764
Verteilstr./Send. (km)	2,22	2,36	2,39	2,43	2,40
Lauf - Nummer	12/I	11	12/II	13	13/II
Datum	7.1.80	7.1.80	7.1.80	7.1.80	7.1.80
Rechenzeit (Sek.)	191,11	140,43	121,43	110,54	110,91
Simulationsdauer (Tage)	40	40	40	40	40

Tabelle A 4 : Läufe zur Untersuchung der Einflüsse der Sendungsstruktur HAN I
(SWS II: siehe Tabelle A15.6, Läufe 14-17)
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)	479,8	527,5	500,3	530,9	529,9
Prozentabweichung v.Soll	-4,03	5,49	0,05	6,19	5,98
Sendungsausgang/Tag (Mp)	476,1	517,6	490,7	529,6	529,6
Anzahl Verteilfahrzeuge	130	140	150	160	170
Fuhrparkgröße relat. (%)	130	140	150	160	170
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,1	59,9	60,4	60,3	59,9
Verweilzeit (Std)	5,67	5,68	5,71	5,66	5,67
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,96	2,99	2,98	2,96
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4180	4564	4380	4751	4751
Auslastung Fahrz. (%)	68,3	68,0	67,2	66,9	66,9
Sendungen pro Fahrt	46,3	46,4	45,7	45,1	45,3
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	7,18	7,16	7,16	7,10	7,12
max. Fahrzeit (Std)	10,34	9,31	10,33	10,14	9,67
Ø Fahrstrecke (km)	57,9	56,9	59,7	60,3	60,2
max. Fahrstrecke (km)	154,5	130,0	154,0	153,9	147,6
Laufzeit I Send. (Std)	16,8	22,4	12,3	9,6	9,9
Laufzeit II Send. (Std)	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Laufzeit Gesamt (Std)	21,7	27,3	17,2	14,5	14,8
Auslastung Fuhrp. (%)	107,2	108,7	97,3	99,0	93,2
Strecke/Gew. (km/Mp)	17,0	16,7	17,8	18,0	18,0
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	126,1	126,3	127,7	127,4	127,7
Ø Geschwindigkeit (kmh)	8,07	7,94	8,35	8,49	8,47
Anzahl Ausgangssend.	193446	211700	200158	214259	215320
Verteilstr./Send. (km)	1,25	1,23	1,31	1,34	1,33
Lauf - Nummer	122	122/II	123/II	123	124
Datum	11.2.80	11.2.80	11.2.80	11.2.80	11.2.80
Rechenzeit (Sek.)	177,88	191,37	177,98	181,79	181,82
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30	30	30

Tabelle A 5 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Zahl der Sendungen pro Empfänger (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500		
Sendungseingang/Tag (Mp)	519,7	482,3	527,0		
Prozentabweichung v.Soll	3,93	-3,53	5,40		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	505,4	484,5	515,2		
Anzahl Verteilfahrzeuge	81	81	81		
Fuhrparkgröße relat. (%)	65	65	65		
Sendungen pro Empfänger	1,00	1,23	1,46		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,4	60,0	60,5		
Verweilzeit (Std)	4,40	4,39	4,41		
Strecke pro Mp (km)	2,99	2,96	2,99		
Sim.-Ergebn. Verteil-F.					
Fahrzeugausgange	4105	3964	4210		
Auslastung Fahrz. (%)	92,3	91,7	91,8		
Sendungen pro Fahrt	25,9	25,8	25,9		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,26	4,68	4,39		
max. Fahrzeit (Std)	9,80	9.17	8,42		
Ø Fahrstrecke (km)	52,4	53,6	52,3		
max. Fahrstrecke (km)	123,6	134,1	121,8		
Laufzeit I Send. (Std)	23,1	9,6	9,5		
Laufzeit II Send. (Std)	4,1	3,7	3,5		
Laufzeit Gesamt (Std)	27,2	13,3	13,0		
Auslastung Fuhrp. (%)	168,9	163,2	173,3		
Strecke/Gew. (km/Mp)	14,2	14,6	14,2		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	85,4	76,6	71,7		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	9,97	11,45	11,91		
Anzahl Ausgangssend.	106274	102329	108973		
Verteilstr./Send. (km)	2,03	2,08	2,02		
Lauf - Nummer	150	126	149		
Datum	9.4.80	18.3.80	9.4.80		
Rechenzeit (Sek.)	219,52	157,60	182,08		
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30		

Tabelle A 5 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Zahl der Sendungen pro Empfänger (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	1000	1000	1000	1000	
Sendungseingang/Tag (Mp)	1048,2	1009,9	1027,6	1020,7	
Prozentabweichung v.Soll	4,82	0,99	2,76	2,07	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	1032,9	1015,3	1033,7	1021,8	
Anzahl Verteilfahrzeuge	156	138	144	156	
Fuhrparkgröße relat. (%)	62,5	55	57,5	62,5	
Sendungen pro Empfänger	1,23	1,46	1,46	1,46	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,1	60,3	60,3	60,2	
Verweilzeit (Std)	4,39	4,40	4,39	4,38	
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,98	2,98	2,97	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4192	4121	4196	4150	
Auslastung Fahrz. (%)	92,4	92,4	92,4	92,3	
Sendungen pro Fahrt	26,0	26,2	25,9	25,8	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,61	4,16	4,14	4,15	
max. Fahrzeit (Std)	8,96	8,01	8,55	8,02	
Ø Fahrstrecke (km)	50,3	48,8	49,0	49,7	
max. Fahrstrecke (km)	138,6	106,8	116,7	126,1	
Laufzeit I Send. (Std)	10,1	11,6	10,0	9,1	
Laufzeit II Send. (Std)	3,7	3,4	3,4	3,4	
Laufzeit Gesamt (Std)	13,8	15,0	13,4	12,5	
Auslastung Fuhrp. (%)	179,1	199,1	194,3	177,4	
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,4	13,2	13,3	13,5	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	74,8	67,6	67,2	67,4	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,91	11,73	11,84	11,97	
Anzahl Ausgangssend.	109084	107810	108617	107226	
Verteilstr./Send. (km)	1,93	1,87	1,89	1,92	
Lauf - Nummer	135	163	162	161	
Datum	19.3.80	19.4.80	19.4.80	19.4.80	
Rechenzeit (Sek.)	281,13	300,96	264,08	223,74	
Simulationsdauer (Tage)	15	15	15	15	

Tabelle A 5 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Zahl der Sendungen pro Empfänger (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	2000	2000	2000	2000	2000
Sendungseingang/Tag (Mp)	2119,8	2015,7	1016,4	1957,9	2088,9
Prozentabweichung v.Soll	5,99	0,78	0,82	-2,11	4,44
Sendungsausgang/Tag (Mp)	2085,3	2005,1	1975,0	2000,3	2070,7
Anzahl Verteilfahrzeuge	300	275	250	263	300
Fuhrparkgröße relat. (%)	60	55	50	52,5	60
Sendungen pro Empfänger	1,23	1,46	1,69	1,69	1,69
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,3	60,4	60,3	60,0
Verweilzeit (Std)	4,39	4,41	4,40	4,40	4,38
Strecke pro Mp (km)	2,98	2,97	2,98	2,98	2,96
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgange	5644	4332	4264	4314	5587
Auslastung Fahrz. (%)	92,4	92,6	92,6	92,7	92,7
Sendungen pro Fahrt	25,8	26,3	26,0	25,9	25,9
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,55	4,16	3,76	3,77	3,79
max. Fahrzeit (Std)	9,11	8,15	7,45	7,85	7,76
Ø Fahrstrecke (km)	49,1	48,4	46,7	46,9	47,4
max. Fahrstrecke (km)	87,0	88,0	81,9	89,9	118,4
Laufzeit I Send. (Std)	10,6	9,0	15,1	9,1	8,8
Laufzeit II Send. (Std)	3,7	3,4	3,2	3,2	3,1
Laufzeit Gesamt (Std)	14,3	12,4	18,3	12,3	11,9
Auslastung Fuhrp. (%)	188,2	196,9	213,2	205,0	196,2
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,3	13,1	12,6	12,7	12,8
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,9	67,4	60,9	61,0	61,3
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,78	11,63	12,41	12,45	12,53
Anzahl Ausgangssend.	145589	113833	110830	111809	144712
Verteilstr./Send. (km)	1,90	1,84	1,80	1,81	1,83
Lauf - Nummer	138	164	163/II	164/II	162/II
Datum	19.3.80	23.4.80	19.4.80	23.4.80	14.4.80
Rechenzeit (Sek.)	493,32	318,02	422,25	362,54	476,78
Simulationsdauer (Tage)	10	8	8	8	10

Tabelle A 5 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Zahl der Sendungen pro Emfänger (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	5000	5000	5000	5000	
Sendungseingang/Tag (Mp)	5143,8	5139,6	5031,2	4870,5	
Prozentabweichung v.Soll	2,88	2,79	0,62	-2,59	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	5031,0	4966,1	5026,7	4914,8	
Anzahl Verteilfahrzeuge	750	656	688	625	
Fuhrparkgröße relat. (%)	60	52,5	55	50	
Sendungen pro Empfänger	1,23	1,46	1,46	1,69	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,2	60,0	60,0	
Verweilzeit (Std)	4,40	4,39	4,38	4,38	
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,97	2,96	2,96	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	8143	8046	8139	7964	
Auslastung Fahrz. (%)	92,6	92,6	92,6	92,6	
Sendungen pro Fahrt	26,1	26,0	25,9	25,9	
∅ Fahrzeit p.Tour (Std)	4,58	4,09	4,09	3,75	
max. Fahrzeit (Std)	9,30	8,03	8,27	7,44	
∅ Fahrstrecke (km)	48,7	47,0	47,2	46,0	
max. Fahrstrecke (km)	91,5	83,9	86,9	82,8	
Laufzeit I Send. (Std)	8,6	11,3	8,3	9,3	
Laufzeit II Send. (Std)	3,6	3,4	3,4	3,2	
Laufzeit Gesamt (Std)	12,2	14,7	11,7	12,5	
Auslastung Fuhrp. (%)	181,1	204,4	197,2	212,4	
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,1	12,7	12,7	12,4	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	74,2	66,3	66,2	60,7	
∅ Geschwindigkeit (km/h)	10,63	11,49	11,56	11,27	
Anzahl Ausgangssend.	212458	209041	210504	206539	
Verteilstr./Send. (km)	1,87	1,81	1,83	1,77	
Lauf - Nummer	144	166	166/II	164/II	
Datum	27.3.80	26.4.80	26.4.80	22.4.80	
Rechenzeit (Sek.)	1180,55	1230,76	-	968,78	
Simulationsdauer (Tage)	6	6	6	6	

Tabelle A 6 : Läufe zur Erprobung der Verteilroutine 2
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	50	500	2000		
Sendungseingang/Tag (Mp)	51,6	506,7	2078,7		
Prozentabweichung v.Soll	3,09	1,34	3,94		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	51,6	505,8	1997,5		
Anzahl Verteilfahrzeuge	10	80	280		
Fuhrparkgröße relat. (%)	100	80	70		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,1	60,6		
Verweilzeit (Std)	4,38	4,39	4,41		
Strecke pro Mp (km)	2,98	2,97	2,99		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	489	4454	4338		
Auslastung Fahrz. (%)	80,3	90,8	92,1		
Sendungen pro Fahrt	28,1	32,0	32,4		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,69	5,77	5,67		
max. Fahrzeit (Std)	23,98	18,58	9,82		
Ø Fahrstrecke (km)	81,1	66,5	61,3		
max. Fahrstrecke (km)	729,3	588,8	128,4		
Laufzeit I Send. (Std)	18,4	10,4	16,4		
Laufzeit II Send. (Std)	4,4	4,4	4,4		
Laufzeit Gesamt (Std)	22,8	18,8	20,8		
Auslastung Fuhrp. (%)	128,6	139,2	155,0		
Strecke/Gew. (km/Mp)	20,2	14,6	13,3		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	85,0	76,2	73,8		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	14,27	11,54	10,82		
Anzahl Ausgangssend.	13726	142399	140366		
Verteilstr./Send. (km)	2,89	2,08	1,89		
Lauf - Nummer	80	73	89		
Datum	24.1.80	23.1.80	28.1.80		
Rechenzeit (Sek.)	416,41	199,90	403,68		
Simulationsdauer (Tage)	38	40	10		

Tabelle A 7 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Maximalzahl Sendungen pro Fahrzeug (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	507,1	525,7	497,6	510,8	
Prozentabweichung v.Soll	1,42	5,13	-0,49	2,16	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	504,2	526,9	500,0	513,2	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	
Maximalzahl S.p.Fahrzeug	30	35	40	45	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,2	60,2	60,3	
Verweilzeit (Std)	4,41	4,39	4,39	4,39	
Strecke pro Mp (km)	2,98	2,97	2,97	2,98	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	5614	5305	4667	4621	
Auslastung Fahrz. (%)	71,8	79,5	85,7	88,8	
Sendungen pro Fahrt	25,5	27,8	30,1	31,2	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,63	4,95	5,31	5,44	
max. Fahrzeit (Std)	7,14	7,66	8,33	9,27	
Ø Fahrstrecke (km)	53,4	54,1	57,1	56,7	
max. Fahrstrecke (km)	127,2	130,6	140,7	158,6	
Laufzeit I Send. (Std)	10,3	10,4	9,3	9,4	
Laufzeit II Send. (Std)	3,4	3,7	3,9	4,1	
Laufzeit Gesamt (Std)	13,7	14,1	13,2	13,5	
Auslastung Fuhrp. (%)	175,4	165,8	145,9	144,5	
Strecke/Gew. (km/Mp)	14,9	13,9	13,3	12,8	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	77,3	74,7	74,4	73,5	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	11,54	10,95	10,74	10,42	
Anzahl Ausgangssend.	142915	147644	140310	143997	
Verteilstr./Send. (km)	2,10	1,94	1,90	1,82	
Lauf - Nummer	84	83	83/II	97	
Datum	28.1.80	28.1.80	28.1.80	30.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	226,77	224,70	171,04	177,91	
Simulationsdauer (Tage)	40	40	40	40	

Tabelle A 7 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Maximalzahl Sendungen pro Fahrzeug (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500		
Sendungseingang/Tag (Mp)	517,4	515,0	488,0		
Prozentabweichung v.Soll	3,47	3,60	-2,41		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	517,6	513,0	487,9		
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80		
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80		
Maximalzahl S.p.Fahrzeug	50	55	60		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,0	60,0		
Verweilzeit (Std)	4,39	4,38	4,39		
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,96	2,96		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4565	4523	4283		
Auslastung Fahrz. (%)	90,7	90,7	91,1		
Sendungen pro Fahrt	31,7	31,9	32,2		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,50	5,56	5,60		
max. Fahrzeit (Std)	9,71	10,18	10,76		
Ø Fahrstrecke (km)	56,6	57,8	58,0		
max. Fahrstrecke (km)	144,4	139,0	134,5		
Laufzeit I Send. (Std)	9,6	8,7	8,9		
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2		
Laufzeit Gesamt (Std)	13,8	12,9	13,2		
Auslastung Fuhrp. (%)	142,7	141,3	133,9		
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,5	12,7	12,7		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	72,8	73,5	73,7		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,28	10,41	10,36		
Anzahl Ausgangssend.	144488	144079	137782		
Verteilstr./Send. (km)	1,79	1,82	1,80		
Lauf - Nummer	82	98	99		
Datum	28.1.80	30.1.80	30.1.80		
Rechenzeit (Sek.)	180,97	164,36	156,47		
Simulationsdauer (Tage)	40	40	40		

Tabelle A 8 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Minimalzahl von Sendungen pro Fahrzeug (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	495,4	505,9	502,8	561,1	
Prozentabweichung v.Soll	-0,96	1,18	0,57	12,21	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	494,4	509,0	507,0	541,6	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	
Minimalzahl S.p.Fahrzeug	1	5	6	7	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,3	60,3	60,2	
Verweilzeit (Std)	4,39	4,39	4,41	4,40	
Strecke pro Mp (km)	2,98	2,98	2,98	2,97	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	3352	3374	3374	3554	
Auslastung Fahrz. (%)	88,5	90,5	90,2	91,4	
Sendungen pro Fahrt	30,9	31,5	31,7	32,1	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,45	5,48	5,54	5,55	
max. Fahrzeit (Std)	9,94	9,33	9,39	9,95	
Ø Fahrstrecke (km)	58,0	56,6	57,6	56,0	
max. Fahrstrecke (km)	145,7	129,7	128,7	137,2	
Laufzeit I Send. (Std)	8,8	9,4	9,4	12,3	
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2	4,2	
Laufzeit Gesamt (Std)	13,0	13,6	13,6	16,5	
Auslastung Fuhrp. (%)	139,7	140,6	140,6	148,1	
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,1	12,5	12,8	12,2	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,9	72,7	73,7	72,8	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,64	10,33	10,41	10,10	
Anzahl Ausgangssend.	103576	106270	106843	114238	
Verteilstr./Send. (km)	1,88	1,80	1,82	1,74	
Lauf - Nummer	119	118	117	116	
Datum	5.2.80	5.2.80	5.2.80	5.2.80	
Rechenzeit (Sek.)	133,76	140,16	142,76	162,67	
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30	30	

Tabelle A 8 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Minimalzahl von Sendungen pro Fahrzeug (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500		
Sendungseingang/Tag (Mp)	507,3	522,2	497,0		
Prozentabweichung v.Soll	1,45	4,43	-0,60		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	505,4	521,8	500,9		
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80		
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80		
Minimalzahl S.p.Fahrzeug	8	9	10		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,4	60,2		
Verweilzeit (Std)	4,39	4,39	4,39		
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,98	2,97		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgange	3351	3445	4419		
Auslastung Fahrz. (%)	91,0	90,9	90,7		
Sendungen pro Fahrt	31,8	31,7	31,8		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,54	5,51	5,52		
max. Fahrzeit (Std)	9,24	9,15	9,46		
Ø Fahrstrecke (km)	56,8	56,9	57,0		
max. Fahrstrecke (km)	135,2	133,6	139,4		
Laufzeit I Send. (Std)	9,2	9,4	9,3		
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2		
Laufzeit Gesamt (Std)	13,4	13,6	13,5		
Auslastung Fuhrp. (%)	139,6	143,5	138,1		
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,5	12,5	12,6		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,0	72,8	73,1		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,26	10,32	10,32		
Anzahl Ausgangssend.	106704	109065	140469		
Verteilstr./Send. (km)	1,78	1,80	1,79		
Lauf - Nummer	115	114	113		
Datum	5.2.80	5.2.80	5.2.80		
Rechenzeit (Sek.)	137,54	144,77	167,00		
Simulationsdauer (Tage)	30	30	40		

Tabelle A 9 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses des Kurvenzuschlags zur Luftlinie bei der Entfernungsermittlung
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)	512,7	504,7	497,0	567,9	509,5
Prozentabweichung v.Soll	2,54	0,94	-0,60	13,57	1,91
Sendungsausgang/Tag (Mp)	518,3	501,1	500,9	561,7	509,8
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	80
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	80
Kurvenzuschlagsfaktor	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	50,3	55,5	60,2	65,1	70,2
Verweilzeit (Std)	4,29	4,29	4,39	4,53	4,62
Strecke pro Mp (km)	2,49	2,74	2,97	3,22	3,47
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	3419	3333	4419	3696	3366
Auslastung Fahrz. (%)	91,0	90,2	90,7	91,2	90,9
Sendungen pro Fahrt	32,0	31,8	31,8	32,5	31,7
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,31	5,40	5,52	5,64	5,76
max. Fahrzeit (Std)	9,33	9,11	9,46	9,48	9,89
Ø Fahrstrecke (km)	47,4	52,2	60,0	58,4	66,8
max. Fahrstrecke (km)	108,1	137,4	139,4	113,3	159,2
Laufzeit I Send. (Std)	9,1	9,8	9,3	15,5	9,1
Laufzeit II Send. (Std)	4,1	4,1	4,2	4,3	4,3
Laufzeit Gesamt (Std)	13,2	13,9	13,5	19,8	13,4
Auslastung Fuhrp. (%)	142,5	138,9	138,1	154,0	140,3
Strecke/Gew. (km/Mp)	10,4	11,6	12,6	12,8	14,7
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	70,0	71,8	73,1	74,2	76,0
Ø Geschwindigkeit (kmh)	8,94	9,67	10,32	10,37	11,61
Anzahl Ausgangssend.	109283	105978	140978	120153	106605
Verteilstr./Send. (km)	1,48	1,64	1,79	1,80	2,11
Lauf - Nummer	65	66	15	67	68
Datum	23.1.80	23.1.80	7.1.80	23.1.80	23.1.80
Rechenzeit (Sek.)	141,54	128,82	167,00	178,25	130,58
Simulationsdauer (Tage)	30	30	40	30	30

Tabelle A 9 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses des Kurvenzuschlags zur Luftlinie bei der Entfernungsermittlung
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	532,5	487,6	493,0	479,9	
Prozentabweichung v.Soll	6,49	-2,47	-1,39	-4,01	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	530,3	484,8	485,0	478,3	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	
Fuhrparkgroße relat. (%)	80	80	80	80	
Kurvenzuschlagsfaktor	1,5	1,6	1,7	1,8	
Sim.-Ergebn. Fernfahrt					
Fahrstrecke (km)	75,1	80,3	85,5	65,2	
Verweilzeit (Std)	4,76	4,87	5,02	4,51	
Strecke pro Mp (km)	3,71	3,96	4,22	3,22	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgange	3488	3210	3223	3187	
Auslastung Fahrz. (%)	91,2	90,6	90,3	90,0	
Sendungen pro Fahrt	32,2	31,5	31,9	31,6	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,86	5,99	6,15	5,67	
max. Fahrzeit (Std)	10,38	10,53	10,58	10,37	
Ø Fahrstrecke (km)	68,7	76,6	81,6	62,7	
max. Fahrstrecke (km)	169,7	180,1	191,6	161,5	
Laufzeit I Send. (Std)	12,6	9,3	10,3	9,2	
Laufzeit II Send. (Std)	4,4	4,4	4,5	4,3	
Laufzeit Gesamt (Std)	17,0	13,7	14,3	13,5	
Auslastung Fuhrp. (%)	145,4	133,8	134,3	132,6	
Strecke/Gew. (km/Mp)	15,1	16,9	18,0	13,9	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	77,1	79,3	81,7	78,6	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	11,72	12,79	13,19	11,07	
Anzahl Ausgangssend.	112232	101154	102937	100840	
Verteilstr./Send. (km)	2,14	2,43	2,54	1,98	
Lauf - Nummer	69	77	70	100	
Datum	23.1.80	23.1.80	23.1.80	30.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	161,69	130,12	-	122,15	
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30	30	

Tabelle A 10 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der "fixen Abfertigungszeit" beim Empfänger (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	520,7	526,7	506,6	504,7	
Prozentabweichung v.Soll	4,15	5,34	1,32	0,93	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	445,7	501,5	507,0	506,8	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	90	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	90	80	80	
Fixe Abfertigungsz.(Min)	15	15	10	9	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,3	60,1	60,2	
Verweilzeit (Std)	4,38	4,40	4,37	4,39	
Strecke pro Mp (km)	2,93	2,98	2,97	2,97	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	2872	4325	3326	3344	
Auslastung Fahrz. (%)	93,1	92,8	91,5	90,9	
Sendungen pro Fahrt	32,4	32,5	31,8	32,0	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	8,57	8,59	6,33	5,97	
max. Fahrzeit (Std)	14,71	14,72	10,90	10,05	
Ø Fahrstrecke (km)	51,7	52,2	54,8	56,3	
max. Fahrstrecke (km)	87,7	95,3	133,3	135,6	
Laufzeit I Send. (Std)	89,2	30,3	12,9	11,7	
Laufzeit II Send. (Std)	6,1	6,1	4,7	4,5	
Laufzeit Gesamt (Std)	95,3	36,4	17,6	16,2	
Auslastung Fuhrp. (%)	119,7	120,2	138,6	139,4	
Strecke/Gew. (km/Mp)	11,1	11,2	12,0	12,4	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	110,4	111,1	83,0	78,8	
Ø Geschwindigkeit (kmn)	6,04	6,07	8,65	9,42	
Anzahl Ausgangssend.	93096	140383	105713	107079	
Verteilstr./Send. (km)	1,60	1,61	1,72	1,76	
Lauf - Nummer	76	85	75	74	
Datum	23.1.80	28.1.80	23.1.80	23.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	127,08	178,00	149,60	139,98	
Simulationsdauer (Tage)	30	40	30	30	

Tabelle A 10 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der "fixen Abfertigungszeit" beim Empfänger (Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	
Sendungseingang/Tag (Mp)	497,0	528,1	494,1	469,8	
Prozentabweichung v.Soll	-0,60	5,61	-1,18	-0,63	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	500,9	526,7	497,0	492,3	
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	
Fixe Abfertigungsz. (min)	8	7	6	5	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,2	60,2	60,1	
Verweilzeit (Std)	4,39	4,39	4,38	4,38	
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,97	2,97	2,97	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4419	3497	3315	3290	
Auslastung Fahrz. (%)	90,7	90,4	90,0	98,8	
Sendungen pro Fahrt	31,8	31,7	31,4	31,5	
ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,52	5,01	4,64	4,22	
max. Fahrzeit (Std)	9,46	9,32	7,73	7,43	
ø Fahrstrecke (km)	60,0	56,4	57,9	57,9	
max. Fahrstrecke (km)	139,4	128,0	136,8	134,1	
Laufzeit I Send. (Std)	9,3	9,6	8,7	8,4	
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	3,9	3,6	3,3	
Laufzeit Gesamt (Std)	13,5	13,5	12,3	11,7	
Auslastung Fuhrp. (%)	138,1	145,7	138,1	137,1	
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,6	12,5	12,9	12,9	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,1	67,3	61,9	56,4	
ø Geschwindigkeit (kmh)	10,32	11,14	12,47	13,73	
Anzahl Ausgangssend.	140469	110924	104924	103572	
Verteilstr./Send. (km)	1,79	1,78	1,84	1,84	
Lauf - Nummer	1[illegible]	[illegible]	72	[illegible]	
Datum	[illegible]	[illegible]	23.1.80	[illegible]	
Rechenzeit (Sek.)	16[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
Simulationsdauer (Tage)	40	[illegible]	[illegible]	30	

Tabelle A 11 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Nutzlast der Verteilfahrzeuge

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500		
Sendungseingang/Tag (Mp)	494,9	506,4	499,5		
Prozentabweichung v.Soll	-1,01	1,29	-0,10		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	490,3	505,9	501,2		
Anzahl Verteilfahrzeuge	88	94	100		
Fuhrparkgröße relat. (%)	70	75	80		
Nutzlast Verteilfz. (kp)	4000	4000	4000		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,2	60,2		
Verweilzeit (Std)	4,38	4,39	4,38		
Strecke pro Mp (km)	2.98	2,97	2,97		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4019	4144	4156		
Auslastung Fahrz. (%)	91,5	91,6	90,6		
Sendungen pro Fahrt	25,5	25,6	25,4		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,66	4,66	4,63		
max. Fahrzeit (Std)	9,45	9,21	10,05		
Ø Fahrstrecke (km)	54,1	53,5	53,9		
max. Fahrstrecke (km)	123,6	135,5	132,3		
Laufzeit I Send. (Std)	8,5	8,7	8,6		
Laufzeit II Send. (Std)	3,6	3,6	3,6		
Laufzeit Gesamt (Std)	12,1	11,3	12,2		
Auslastung Fuhrp. (%)	152,2	147,0	138,5		
Strecke/Gew. (km/Mp)	14,8	14,6	14,9		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	76,4	76,4	76,7		
Ø Geschwindigkeit (km/h)	11,60	11,49	11,63		
Anzahl Ausgangssend.	102580	106204	105519		
Verteilstr./Send. (km)	2,12	2,09	2,12		
Lauf - Nummer	99	99/II	72/I		
Datum	30.1.80	30.1.80	23.1.80		
Rechenzeit (Sek.)	141,18	148,45	129,03		
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30		

Tabelle A 11: Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Nutzlast der Verteilfahrzeuge

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500		
Sendungseingang/Tag (Mp)	535,4	506,7	478,1		
Prozentabweichung v.Soll	7,09	1,35	-4,39		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	542,1	508,1	474,1		
Anzahl Verteilfahrzeuge	106	113	125		
Fuhrparkgröße relat. (%)	85	90	100		
Nutzlast Verteilfz. (kp)	4000	4000	4000		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,5	59,9		
Verweilzeit (Std)	4,39	4,40	4,39		
Strecke pro Mp (km)	2,98	2,99	2,96		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4445	4194	3909		
Auslastung Fahrz. (%)	91,5	90,9	91,0		
Sendungen pro Fahrt	25,7	25,5	25,7		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,67	4,65	4,71		
max. Fahrzeit (Std)	9,05	9,82	9,39		
Ø Fahrstrecke (km)	53,6	53,9	54,9		
max. Fahrstrecke (km)	127,9	136,6	131,9		
Laufzeit I Send. (Std)	8,6	8,1	8,2		
Laufzeit II Send. (Std)	3,6	3,6	3,6		
Laufzeit Gesamt (Std)	12,2	11,7	11,8		
Auslastung Fuhrp. (%)	139,8	123,7	104,2		
Strecke/Gew. (km/Mp)	14,6	14,3	15,1		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	76,5	76,8	77,6		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	11,48	11,58	11,67		
Anzahl Ausgangssend.	114254	107030	100268		
Verteilstr./Send. (km)	2,08	2,11	2,14		
Lauf - Nummer	71	72/II	67		
Datum	23.1.80	23.1.80	23.1.80		
Rechenzeit (Sek.)	136,36	115,61	99,18		
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30		

Tabelle A 11 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Nutzlast der Verteilfahrzeuge

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)	534,2	494,6	526,[illegible]	519,8	515,8
Prozentabweichung v.Soll	6,85	-1,09	5,35	3,97	3,16
Sendungsausgang/Tag (Mp)	484,5	500,8	524,[illegible]	512,1	517,3
Anzahl Verteilfahrzeuge	67	71	75	75	83
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	85	90	90	100
Nutzlast Verteilfz. (kp)	6000	6000	6000	6000	6000
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,1	5[illegible],9	[illegible]0,6	60,0	60,4
Verweilzeit (Std)	4,40	4,39	4,41	4,38	4,39
Strecke pro Mp (km)	2,9[illegible]	2,[illegible]	2,[illegible]	2,96	2,93
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	2[illegible]05	2[illegible]21	2[illegible]	2898	2960
Auslastung Fahrz. (%)	89,6	[illegible]	88,[illegible]	88,8	87,3
Sendungen pro Fahrt	3[illegible],8	3[illegible],1	[illegible]	37,2	36,5
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	6,22	6,24	6,23	6,2[illegible]	6,22
max. Fahrzeit (Std)	[illegible],31	10,[illegible]	9,67	9,[illegible]	10,20
Ø Fahrstrecke (km)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	55,[illegible]	60,4
max. Fahrstrecke (km)	127,5	136,5	119,0	154,6	139,0
Laufzeit I Send. (Std)	40,9	13,[illegible]	16,2	12,6	8,5
Laufzeit II Send. (Std)	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Laufzeit Gesamt (Std)	45,[illegible]	1[illegible]	20,8	1[illegible],2	13,1
Auslastung Fuhrp. (%)	134,6	132,6	131,5	128,9	118,9
Strecke/Gew. (km/Mp)	10,2	10,8	10,6	11,1	11,5
Zeit/Gewicht (Min/M[illegible])	[illegible],1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]1,1
Ø Geschwindigkeit (kmh)	8,80	9,19	9,07	9,41	9,72
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Verteilstr./Send. (km)	1,45	1,53	1,51	1,58	1,66
Lauf - Nummer	64	63	62	100	65
Datum	23.1.80	23.1.80	23.1.80	30.1.80	23,1.80
Rechenzeit (Sek.)	140,91	133,70	143,12	127,81	116,42
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30	30	30

Tabelle A 12 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Entfernung der Umschlagsanlage vom Mittelpunkt des Ballungsraumes
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)	513,6	541,1	494,7	517,6	498,1
Prozentabweichung v.Soll	2,72	8,22	-1,06	3,52	-0,38
Sendungsausgang/Tag (Mp)	522,4	537,9	496,4	522,2	503,7
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	80
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	30	80	80
Entfernung v.Mittelp.(km)	0,0	0,5	1,0	2,5	5,0
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,0	60,0	60,1	60,3	60,7
Verweilzeit (Std)	4,45	4,42	4,42	4,41	4,39
Strecke pro Mp (km)	2,96	2,97	2,97	2,98	3,00
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	3453	3554	3303	3460	3346
Auslastung Fahrz. (%)	90,8	90,8	90,2	90,5	90,3
Sendungen pro Fahrt	32,2	31,6	31,7	31,7	31,8
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,55	5,47	5,50	5,47	5,58
max. Fahrzeit (Std)	10,07	9,39	9,28	9,12	10,02
Ø Fahrstrecke (km)	55,4	54,7	56,6	55,3	59,4
max. Fahrstrecke (km)	135,9	130,4	131,2	130,6	146,6
Laufzeit I Send. (Std)	10,4	10,4	8,7	11,0	9,0
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Laufzeit Gesamt (Std)	14,6	14,6	12,9	15,2	13,2
Auslastung Fuhrp. (%)	143,9	148,1	137,6	144,2	139,5
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,2	12,0	12,5	12,2	13,1
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,4	72,2	73,3	72,5	74,1
Ø Geschwindigkeit (km/h)	10,0	10,0	10,3	10,1	10,6
Anzahl Ausgangssend.	111144	112387	104577	109682	105344
Verteilstr./Send. (km)	1,72	1,73	1,79	1,75	1,87
Lauf - Nummer	47	48	48/II	49	49/II
Datum	21.1.80	21.1.80	21.1.80	21.1.80	21.1.80
Rechenzeit (Sek.)	154,20	152,86	127,76	147,16	128,50
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30	30	30

Tabelle A12 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses der Entfernung der Umschlagsanlage vom Mittelpunkt des Ballungsraumes
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)	505,6	508,2	505,6	505,3	500,5
Prozentabweichung v.Soll	1,12	1,64	1,12	1,06	0,10
Sendungsausgang/Tag (Mp)	504,8	504,3	503,3	499,6	502,7
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80	80	80
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80	80	80
Entfernung v.Mittelp.(km)	7,5	10,0	15,0	20,0	25,0
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	61,5	61,8	66,2	70,3	74,4
Verweilzeit (Std)	4,36	4,34	4,43	4,51	4,61
Strecke pro Mp (km)	3,04	3,05	3,27	3,47	3,67
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	3354	3343	3330	3301	3341
Auslastung Fahrz. (%)	90,3	90,4	90,7	90,8	90,3
Sendungen pro Fahrt	31,6	31,6	31,6	31,7	31,6
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,64	5,69	5,91	6,06	6,25
max. Fahrzeit (Std)	10,21	9,61	10,11	9,98	11,41
Ø Fahrstrecke (km)	83,0	86,4	96,3	84,1	92,8
max. Fahrstrecke (km)	152,7	149,6	175,3	177,7	212,0
Laufzeit I Send. (Std)	10,0	9,9	9,9	11,9	11,4
Laufzeit II Send. (Std)	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5
Laufzeit Gesamt (Std)	14,3	14,2	14,3	16,3	15,9
Auslastung Fuhrp. (%)	139,8	139,5	138,8	137,6	139,3
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,9	14,7	16,8	18,5	20,6
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	75,0	75,5	78,1	80,2	83,0
Ø Geschwindigkeit (kmh)	11,2	11,7	12,9	13,9	14,8
Anzahl Ausgangssend.	105028	105631	105364	104665	105497
Verteilstr./Send. (km)	1,99	2,10	2,41	2,65	2,94
Lauf - Nummer	50	50/II	51	52	52/II
Datum	21.1.80	21.1.80	21.1.80	21.1.80	21.1.80
Rechenzeit (Sek.)	131,37	133,28	137,83	140,51	141,55
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30	30	30

Tabelle A 13 : - Läufe zur Untersuchung des Einflusses des Standortes der Umschlagsanlage (Variation des Winkels, Entfernung vom Mittelpunkt BR : 3km)
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500		
Sendungseingang/Tag (Mp)	486,7	520,7	542,8		
Prozentabweichung v.Soll	-2,66	4,14	8,56		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	482,02	523,1	540,22		
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80		
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80		
Winkel zur Polarachse(°)	60	120	180		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	59,8	60,1	60,3		
Verweilzeit (Std)	4,41	4,41	4,39		
Strecke pro Mp (km)	2,95	2,97	2,98		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	3213	3471	3549		
Auslastung Fahrz. (%)	90,0	90,4	91,3		
Sendungen pro Fahrt	31,8	31,6	32,0		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,46	5,41	5,54		
max. Fahrzeit (Std)	9,64	9,68	9,85		
Ø Fahrstrecke (km)	55,3	54,4	56,2		
max. Fahrstrecke (km)	136,7	136,0	145,0		
Laufzeit I Send. (Std)	8,7	8,9	12,0		
Laufzeit II Send. (Std)	4,1	4,2	4,2		
Laufzeit Gesamt (Std)	12,8	13,1	16,2		
Auslastung Fuhrp. (%)	133,9	144,6	147,9		
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,3	12,0	12,3		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	72,8	71,8	72,8		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,1	10,1	10,1		
Anzahl Ausgangssend.	102188	109837	113550		
Verteilstr./Send. (km)	1,74	1,72	1,76		
Lauf - Nummer	53	54	55		
Datum	22.1.80	22.1.80	22.1.80		
Rechenzeit (Sek.)	121,05	137,86	156,53		
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30		

Tabelle A13 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses des Standortes der Umschlagsanlage (Variation des Winkels, Entfernung vom Mittelpunkt BR : 3km)
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500		
Sendungseingang/Tag (Mp)	509,7	527,3	524,5		
Prozentabweichung v.Soll	1,94	5,46	4,91		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	508,0	529,7	528,6		
Anzahl Verteilfahrzeuge	80	80	80		
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	80	80		
Winkel zur Polarachse (^{o})	240	300	360		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,1	60,1		
Verweilzeit (Std)	4,40	4,41	4,42		
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,97	2,97		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	3360	3495	3493		
Auslastung Fahrz. (%)	90,7	90,9	90,8		
Sendungen pro Fahrt	31,9	32,0	31,8		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,69	5,67	5,52		
max. Fahrzeit (Std)	9,23	9,50	9,38		
Ø Fahrstrecke (km)	60,8	60,3	56,3		
max. Fahrstrecke (km)	134,3	135,6	131,4		
Laufzeit I Send. (Std)	9,3	10,0	10,2		
Laufzeit II Send. (Std)	4,3	4,2	4,2		
Laufzeit Gesamt (Std)	13,6	14,2	14,4		
Auslastung Fuhrp. (%)	140,1	145,7	145,6		
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,4	13,3	12,4		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	75,2	74,8	72,9		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,7	10,6	10,2		
Anzahl Ausgangssend.	107168	111807	110969		
Verteilstr./Send. (km)	1,91	1,88	1,77		
Lauf - Nummer	56	57	58		
Datum	22.1.80	22.1.80	22.1.80		
Rechenzeit (Sek.)	139,93	147,82	155,65		
Simulationsdauer (Tage)	30	30	30		

Tabelle A 14 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

			X	X	
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	10	10	10	20	20
Sendungseingang/Tag (Mp)	10,1	10,0	9,9	20,8	20,4
Prozentabweichung v.Soll	1,23	-0,12	-0,59	4,01	1,92
Sendungsausgang/Tag (Mp)	10,0	9,9	9,9	20,6	20,3
Anzahl Verteilfahrzeuge	4	5	6	8	9
Fuhrparkgröße relat. (%)	160	200	240	160	180
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,4	60,5	60,2	60,3	60,1
Verweilzeit (Std)	4,37	4,38	4,37	4,39	4,38
Strecke pro Mp (km)	2,93	2,99	2,98	2,98	2,97
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	135	136	138	274	271
Auslastung Fahrz. (%)	70,1	68,9	67,8	71,4	72,2
Sendungen pro Fahrt	19,7	19,3	18,7	20,0	19,9
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,32	4,27	4,17	4,33	4,32
max. Fahrzeit (Std)	9,87	8,41	9,38	9,29	9,16
Ø Fahrstrecke (km)	67,2	67,1	66,5	66,8	66,7
max. Fahrstrecke (km)	143,6	140,1	137,8	134,3	140,6
Laufzeit I Send. (Std)	21,5	17,1	14,3	12,8	12,4
Laufzeit II Send. (Std)	3,3	3,2	3,2	3,3	3,2
Laufzeit Gesamt (Std)	24,8	20,3	17,5	16,1	15,6
Auslastung Fuhrp. (%)	88,9	71,6	60,5	90,1	79,1
Strecke/Gew. (km/Mp)	24,0	24,4	24,5	23,4	23,4
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	92.3	92,9	92,3	91,0	91,1
Ø Geschwindigkeit (kmh)	15,56	15,73	15,86	15,41	15,42
Anzahl Ausgangssend.	2665	2629	2590	5487	5394
Verteilstr./Send. (km)	3,41	3,47	3,55	3,34	3,35
Lauf - Nummer	135/II	136	137	139	138
	19.3.80	19.3.80	19.3.80	19.3.80	19.3.80
	107,09	90,53	78,09	167,48	161,25
	38	38	38	38	38

(X ≙ Minimalfuhrpark der jeweiligen GVZ-Klasse)

Tabelle A 14 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

		X			
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	50	50	50		
Sendungseingang/Tag (Mp)	50,6	50,3	52,9		
Prozentabweichung v.Soll	1,09	0,54	5,81		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	50,4	50,5	52,3		
Anzahl Verteilfahrzeuge	10	11	13		
Fuhrparkgröße relat. (%)	80	88	104		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,3	60,0		
Verweilzeit (Std)	4,38	4,40	4,40		
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,98	2,96		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	302	308	404		
Auslastung Fahrz. (%)	83,6	81,8	81,0		
Sendungen pro Fahrt	23,3	23,0	22,9		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,67	4,66	4,64		
max. Fahrzeit (Std)	10,02	9,91	10,18		
Ø Fahrstrecke (km)	64,2	65,3	65,1		
max. Fahrstrecke (km)	143,1	141,5	153,8		
Laufzeit I Send. (Std)	17,9	14,3	12,9		
Laufzeit II Send. (Std)	3,6	3,6	3,6		
Laufzeit Gesamt (Std)	21,4	17,9	16,5		
Auslastung Fuhrp. (%)	151,0	140,2	124,2		
Strecke/Gew. (km/Mp)	19,2	20,0	20,1		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	83,8	85,3	86,0		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	13,75	14,03	14,3		
Anzahl Ausgangssend.	7032	7083	9222		
Verteilstr./Send. (km)	2,76	2,84	2,85		
Lauf - Nummer	142	141	140		
Datum	19.3.80	19.3.80	19.3.80		
Rechenzeit (Sek.)	306,61	273,49	309,58		
Simulationsdauer (Tage)	20	20	25		

(X ≙ Minimalfuhrpark der jeweiligen GVZ-Klasse)

Tabelle A 14: Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

		X			X
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	100	100	100	200	200
Sendungseingang/Tag (Mp)	101,0	98,6	104,3	208,0	206,9
Prozentabweichung v.Soll	1,00	-1,39	4,34	3,98	3,44
Sendungsausgang/Tag (Mp)	99,6	99,6	102,1	205,3	207,3
Anzahl Verteilfahrzeuge	18	19	20	34	35
Fuhrparkgröße relat. (%)	72,5	75	80	67,5	70
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,0	60,2	60,3	60,2	60,1
Verweilzeit (Std)	4,37	4,39	4,39	4,40	4,40
Strecke pro Mp (km)	2,96	2,97	2,98	2,97	2,97
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	566	577	595	851	857
Auslastung Fahrz. (%)	87,9	86,3	86,5	90,5	90,7
Sendungen pro Fahrt	24,6	24,2	24,2	25,6	25,5
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,74	4,72	4,71	4,71	4,74
max. Fahrzeit (Std)	9,37	9,92	9,61	9,10	10,76
Ø Fahrstrecke (km)	61,6	61,9	61,9	55,6	56,7
max. Fahrstrecke (km)	139,1	133,6	141,4	133,3	150,1
Laufzeit I Send. (Std)	15,5	12,2	11,0	13,6	12,2
Laufzeit II Send. (Std)	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Laufzeit Gesamt (Std)	19,2	15,9	14,7	17,3	15,9
Auslastung Fuhrp. (%)	157,4	151,9	144,7	166,8	163,3
Strecke/Gew. (km/Mp)	17,4	17,9	17,9	17,4	17,6
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	80,9	82,0	81,7	78,0	78,1
Ø Geschwindigkeit (kmh)	12,88	13,12	13,13	11,82	11,97
Anzahl Ausgangssend.	13912	13936	14382	21734	21997
Verteilstr./Send. (km)	2,49	2,55	2,56	2,18	2,22
Lauf - Nummer	131	132	129	134	133
Datum	18.3.80	18.3.80	18.3.80	18.3.80	18.3.80
Rechenzeit (Sek.)	202,91	177,35	174,04	414,26	389,47
Simulationsdauer (Tage)	20	20	20	15	15

(X ≙ Minimalfuhrpark der jeweiligen GVZ-Klasse)

Tabelle A 14 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

		X			X
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	1000	1000	1000
Sendungseingang/Tag (Mp)	505,7	482,3	1052,8	1006,4	1048,2
Prozentabweichung v.Soll	1,15	-3,53	5,28	0,64	4,82
Sendungsausgang/Tag (Mp)	506,5	484,5	1079,0	1006,1	1032,9
Anzahl Verteilfahrzeuge	78	81	156	163	156
Fuhrparkgröße relat. (%)	62,5	65	62,5	65	62,5
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,0	60,2	60,2	60,1
Verweilzeit (Std)	4,39	4,39	4,40	4,40	4,39
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,96	2,97	2,97	2,97
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4114	3964	5836	8184	4192
Auslastung Fahrz. (%)	92,3	91,7	92,4	92,2	92,4
Sendungen pro Fahrt	25,9	25,8	25,9	25,9	26,0
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,64	4,68	4,59	4,63	4,61
max. Fahrzeit (Std)	9,02	9,17	9,52	9,19	8,96
Ø Fahrstrecke (km)	51,9	53,6	50,0	51,2	50,3
max. Fahrstrecke (km)	124,3	134,1	98,0	129,5	138,6
Laufzeit I Send. (Std)	12,3	9,6	13,1	8,6	10,1
Laufzeit II Send. (Std)	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Laufzeit Gesamt (Std)	16,0	13,3	16,8	12,3	13,8
Auslastung Fuhrp. (%)	175,9	163,2	187,1	167,4	179,1
Strecke/Gew. (km/Mp)	14,0	14,6	13,5	13,9	13,6
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	75,4	76,6	74,5	75,3	74,8
Ø Geschwindigkeit (km/h)	11,17	11,45	10,88	11,80	10,91
Anzahl Ausgangssend.	106519	102329	151254	211781	109084
Verteilstr./Send. (km)	2,00	2,08	1,93	1,98	1,93
Lauf - Nummer	129/II	126	127	126/II	135
Datum	18.3.80	18.3.80	18.3.80	18.3.80	19.3.80
Rechenzeit (Sek.)	191,69	157,60	393,49	402,73	231,13
Simulationsdauer (Tage)	30	30	20	30	15

(X ≙ Minimalfuhrpark der jeweiligen GVZ-Klasse)

Tabelle A 14 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

	X			X	
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	2000	2000	5000	5000	
Sendungseingang/Tag (Mp)	2119,8	1844,5	4849,2	5143,8	
Prozentabweichung v.Soll	5,99	-7,78	-3,02	2,88	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	2085,3	1861,1	4935,7	5031,0	
Anzahl Verteilfahrzeuge	300	313	719	750	
Fuhrparkgröße relat. (%)	60	62,5	57,5	60	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,5	60,4	60,2	
Verweilzeit (Std)	4,39	4,40	4,40	4,40	
Strecke pro Mp (km)	2,98	2,98	2,93	2,97	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	5644	5026	7999	8148	
Auslastung Fahrz. (%)	92,4	92,6	92,6	92,6	
Sendungen pro Fahrt	25,8	25,9	26,0	26,1	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,55	4,60	4,57	4,58	
max. Fahrzeit (Std)	9,11	8,99	9,29	9,30	
Ø Fahrstrecke (km)	49,1	50,1	48,6	48,7	
max. Fahrstrecke (km)	87,0	134,9	85,4	91,5	
Laufzeit I Send. (Std)	10,6	8,3	9,7	8,6	
Laufzeit II Send. (Std)	3,7	3,6	3,7	3,6	
Laufzeit Gesamt (Std)	14,3	11,9	13,4	12,2	
Auslastung Fuhrp. (%)	188,2	160,6	185,4	181,1	
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,3	13,5	13,1	13,1	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,9	74,5	74,1	74,2	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,78	10,90	10,63	10,63	
Anzahl Ausgangssend.	145589	130368	203143	212456	
Verteilstr./Send. (km)	1,90	1,93	1,87	1,87	
Lauf - Nummer	138	137/II	143	144	
Datum	19.3.80	19.3.80	21.3.80	27.3.80	
Rechenzeit (Sek.)	493,32	345,65	1149,38	1180,55	
Simuldtionsdauer (Tage)	10	10	6	6	

(X = Minimalfuhrpark der jeweiligen GVZ-klasse)

Tabelle A 14 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 4000 kp)

		X			
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	10000	10000			
Sendungseingang/Tag (Mp)	9897,4	9994,1			
Prozentabweichung v.Soll	-1,03	-0,06			
Sendungsausgang/Tag (Mp)	9840,2	9893,4			
Anzahl Verteilfahrzeuge	1438	1500			
Fuhrparkgröße relat. (%)	57,5	60			
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,0			
Verweilzeit (Std)	4,40	4,39			
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,96			
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	7977	8044			
Auslastung Fahrz. (%)	92,5	92,2			
Sendungen pro Fahrt	26,1	25,9			
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,56	4,54			
max. Fahrzeit (Std)	9,08	9,13			
Ø Fahrstrecke (km)	48,1	48,1			
max. Fahrstrecke (km)	86,2	88,2			
Laufzeit I Send. (Std)	8,3	7,9			
Laufzeit II Send. (Std)	3,6	3,6			
Laufzeit Gesamt (Std)	12,0	11,5			
Auslastung Fuhrp. (%)	185,0	178,8			
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,0	13,0			
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,9	73,9			
Ø Geschwindigkeit (km/h)	10,55	10,60			
Anzahl Ausgangssend.	208107	208583			
Verteilstr./Send. (km)	1,84	1,86			
Lauf - Nummer	148	144			
Datum	1.4.80	28.3.80			
Rechenzeit (Sek.)	1163,40	1167,53			
Simulationsdauer (Tage)	3	3			

(X ≙ Minimalfuhrpark der jeweiligen GVZ-Klasse)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

			X		
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	10	10	10		
Sendungseingang/Tag (Mp)	8,6	10,3	10,2		
Prozentabweichung v.Soll	-13,7	3,39	2,23		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	8,8	10,2	10,2		
Anzahl Verteilfahrzeuge	4	5	6		
Fuhrparkgröße relat. (%)	200	250	300		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,5	60,0	59,9		
Verweilzeit (Std)	4,39	4,39	4,38		
Strecke pro Mp (km)	2,99	2,96	2,96		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	110	132	138		
Auslastung Fahrz. (%)	60,6	59,0	58,7		
Sendungen pro Fahrt	21,1	20,9	20,6		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,56	4,52	4,46		
max. Fahrzeit (Std)	10,33	9,58	9,43		
Ø Fahrstrecke (km)	69,6	68,8	68,6		
max. Fahrstrecke (km)	146,4	128,2	138,8		
Laufzeit I Send. (Std)	19,9	16,1	14,6		
Laufzeit II Send. (Std)	3,5	3,4	3,3		
Laufzeit Gesamt (Std)	23,4	19,5	17,9		
Auslastung Fuhrp. (%)	72,5	69,4	57,7		
Strecke/Gew. (km/Mp)	22,9	23,3	23,3		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	90,2	91,9	90,2		
Ø Geschwindigkeit (kmh)	15,26	15,24	15,36		
Anzahl Ausgangssend.	2319	2748	2851		
Verteilstr./Send. (km)	3,30	3,30	3,33		
Lauf - Nummer	109	98	59		
Datum	4.2.80	30.1.80	22.1.80		
Rechenzeit (Sek.)	80,43	80,29	75,5		
Simulationsdauer (Tage)	38	38	40		

(X ≙ Minimalfuhrpark der Größenklasse GVZ 10)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

				X	
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	20	20	20	20	20
Sendungseingang/Tag (Mp)	18,2	19,2	21,5	18,8	18,3
Prozentabweichung v.Soll	-9,15	-4,04	7,57	-5,96	-8,64
Sendungsausgang/Tag (Mp)	18,4	19,1	21,3	18,6	17,8
Anzahl Verteilfahrzeuge	4	5	6	7	8
Fuhrparkgröße relat. (%)	100	125	150	175	200
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,5	60,4	60,4	60,4	60,5
Verweilzeit (Std)	4,37	4,37	4,39	4,38	4,39
Strecke pro Mp (km)	2,99	2,98	2,93	2,93	2,99
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	195	210	240	224	222
Auslastung Fahrz. (%)	71,7	63,8	67,4	63,1	61,1
Sendungen pro Fahrt	24,7	23,9	23,4	22,0	21,5
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	4,99	4,89	4,85	4,67	4,60
max. Fahrzeit (Std)	9,88	9,79	9,91	9,56	9,43
Ø Fahrstrecke (km)	68,8	69,3	69,7	69,9	69,4
max. Fahrstrecke (km)	138,4	139,3	139,9	137,2	139,0
Laufzeit I Send. (Std)	31,4	19,6	15,5	12,6	11,9
Laufzeit II Send. (Std)	3,9	3,7	3,8	3,6	3,4
Laufzeit Gesamt (Std)	35,3	23,3	19,3	16,2	15,3
Auslastung Fuhrp. (%)	128,5	111,0	105,4	84,4	72,9
Strecke/Gew. (km/Mp)	19,2	20,2	20,7	22,2	22,7
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	83,6	85,3	86,4	88,8	90,4
Ø Geschwindigkeit (kmh)	13,79	14,18	14,37	14,96	15,08
Anzahl Ausgangssend.	4825	5029	5633	4931	4759
Verteilstr./Send. (km)	2,78	2,90	2,97	3,18	3,23
Lauf - Nummer	96	95	94	93	92
Datum	30.1.80	30.1.80	30.1.80	30.1.80	30.1.80
Rechenzeit (Sek.)	209,84	180,93	170,77	139,86	123,42
Simulationsdauer (Tage)	38	38	38	38	38

(X ≙ Minimalfuhrpark der Größenklasse GVZ 20)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Großenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)					
Sendungseingang/Tag (Mp)					
Prozentabweichung v.Soll			-2,74	1,47	
Sendungsausgang/Tag (Mp)					
Anzahl Verteilfahrzeuge			11	12	
Fuhrparkgroße relat. (%)			110	120	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)					
Verweilzeit (Std)					
Strecke pro Mp (km)					
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgange					
Auslastung Fahrz. (%)					
Sendungen pro Fahrt					
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)					
max. Fahrzeit (Std)					
Ø Fahrstrecke (km)					
max. Fahrstrecke (km)					
Laufzeit I Send. (Std)					
Laufzeit II Send. (Std)					
Laufzeit Gesamt (Std)					
Auslastung Fuhrp. (%)					
Strecke/Gew. (km/Mp)					
Zeit/Gewicht (Min/Mp)					
Ø Geschwindigkeit (kmn)					
Anzahl Ausgangssend.					
Verteilstr./Send. (km)					
Lauf - Nummer					
Datum					
Rechenzeit (Sek.)					
Simulationsdauer (Tage)					

(X ≙ Minimalfuhrpark der Größenklasse GVZ 50)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

				X	
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	100	100	100	100	100
Sendungseingang/Tag (Mp)	103,4	104,7	100,5	92,3	98,1
Prozentabweichung v.Soll	3,39	4,69	0,54	-7,73	-1,93
Sendungsausgang/Tag (Mp)	96,6	103,66	98,7	92,6	97,8
Anzahl Verteilfahrzeuge	14	16	17	18	20
Fuhrparkgröße relat. (%)	70	80	85	90	100
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,0	60,3	60,2	60,2	60,5
Verweilzeit (Std)	4,37	4,36	4,38	4,39	4,39
Strecke pro Mp (km)	2,96	2,98	2,97	2,97	2,99
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	432	472	700	456	481
Auslastung Fahrz. (%)	89,6	87,8	84,6	81,2	81,4
Sendungen pro Fahrt	31,1	30,5	29,7	28,7	28,5
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,56	5,51	5,50	5,43	5,37
max. Fahrzeit (Std)	10,01	9,83	10,70	10,01	9,81
Ø Fahrstrecke (km)	61,0	62,8	65,8	67,1	66,5
max. Fahrstrecke (km)	151,0	152,7	160,1	149,0	143,8
Laufzeit I Send. (Std)	30,0	22,4	15,4	11,5	11,1
Laufzeit II Send. (Std)	4,3	4,2	4,2	4,1	4,1
Laufzeit Gesamt (Std)	34,3	26,6	19,6	15,6	15,2
Auslastung Fuhrp. (%)	154,3	147,6	137,3	126,8	120,3
Strecke/Gew. (km/Mp)	13,6	14,3	15,6	16,5	16,3
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	74,4	75,3	78,1	80,3	79,2
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,93	11,39	11,95	12,36	12,37
Anzahl Ausgangssend.	13435	14373	20750	13099	13691
Verteilstr./Send. (km)	1,96	2,06	2,22	2,34	2,33
Lauf - Nummer	30	29	106	29/II	28
Datum	10.1.80	10.1.80	4.2.80	10.1.80	10.1.80
Rechenzeit (Sek.)	194,08	186,42	218,58	137,41	141,00
Simulationsdauer (Tage)	20	20	30	20	20

(X ≙ Minimalfuhrpark der Größenklasse GVZ 100)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

			X		
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	200	200	200	200	200
Sendungseingang/Tag (Mp)	202,6	207,4	198,3	209,0	193,9
Prozentabweichung v.Soll	1,30	3,68	-0,83	4,48	-3,04
Sendungsausgang/Tag (Mp)	195,2	203,0	197,8	209,2	194,9
Anzahl Verteilfahrzeuge	28	32	34	36	40
Fuhrparkgröße relat. (%)	70	80	85	90	100
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,4	59,8	60,2	60,1	60,4
Verweilzeit (Std)	4,4	4,37	4,40	4,39	4,40
Strecke pro Mp (km)	2,98	2,95	2,97	2,97	2,98
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	644	906	902	953	900
Auslastung Fahrz. (%)	90,9	89,6	87,7	87,8	86,7
Sendungen pro Fahrt	32,0	31,5	30,8	31,0	30,5
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,56	5,56	5,56	5,57	5,53
max. Fahrzeit (Std)	10,54	9,51	10,34	10,04	10,04
Ø Fahrstrecke (km)	57,8	59,8	62,5	62,4	63,3
max. Fahrstrecke (km)	137,0	141,5	144,6	148,0	145,4
Laufzeit I Send. (Std)	21,8	15,4	10,8	10,2	9,3
Laufzeit II Send. (Std)	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2
Laufzeit Gesamt (Std)	26,1	19,6	15,0	14,4	13,5
Auslastung Fuhrp. (%)	153,5	141,6	132,7	132,4	112,5
Strecke/Gew. (km/Mp)	12,7	13,3	14,2	14,2	14,6
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	73,4	74,4	76,1	76,1	76,6
Ø Geschwindigkeit (kmh)	10,4	10,76	11,24	11,20	11,45
Anzahl Ausgangssend.	20613	28546	27807	29491	27394
Verteilstr./Send. (km)	1,81	1,90	2,03	2,02	2,08
Lauf - Nummer	27	26	114	25	24
Datum	9.1.80	9.1.80	5.2.80	9.1.80	9.1.80
Rechenzeit (Sek.)	369,75	425,59	385,60	357,18	299,43
Simulationsdauer (Tage)	15	20	20	20	20

(X ≙ Minimalfuhrpark der Größenklasse GVZ 200)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	500	500	500	500	500
Sendungseingang/Tag (Mp)	548,1	524,5	497,0	522,0	524,3
Prozentabweichung v.Soll	9,62	4,9	-0,60	4,40	4,87
Sendungsausgang/Tag (Mp)	519,6	526,2	500,9	522,6	527,50
Anzahl Verteilfahrzeuge	70	75	80	90	100
Fuhrparkgröße relat. (%)	70	75	80	90	100
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,5	60,3	60,2	60,3	60,2
Verweilzeit (Std)	4,39	4,39	4,38	4,40	4,39
Strecke pro Mp (km)	2,99	2,9	2,94	2,93	2,97
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4524	4607	4419	4636	4699
Auslastung Fahrz. (%)	91,9	91,4	90,7	90,2	89,8
Sendungen pro Fahrt	32,1	32,1	31,8	31,7	31,6
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,4	5,51	5,52	5,53	5,53
max. Fahrzeit (Std)	9,03	9,48	9,46	9,91	9,82
Ø Fahrstrecke (km)	51,5	54,9	57,0	57,7	58,2
max. Fahrstrecke (km)	88,1	143,4	139,4	144,8	138,9
Laufzeit I Send. (Std)	43,2	12,7	9,3	8,2	8,2
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Laufzeit Gesamt (Std)	47,4	16,9	13,5	12,4	12,4
Auslastung Fuhrp. (%)	161,6	153,6	138,1	128,8	117,5
Strecke/Gew. (km/Mp)	11,2	12,0	12,6	12,8	13,0
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	70,6	72,3	73,1	73,6	73,9
Ø Geschwindigkeit (kmh)	9,53	9,98	10,32	10,43	10,52
Anzahl Ausgangssend.	145206	147836	140469	146990	148358
Verteilstr./Send. (km)	1,6	1,71	1,79	1,82	1,84
Lauf - Nummer	16	17	18	14	14/II
Datum	7.1.80	7.1.80	7.1.80	7.1.80	7.1.80
Rechenzeit (Sek.)	249,4	203,15	167,00	157,11	153,16
Simulationsdauer (Tage)	40	40	40	40	40

(X ≙ Minimalfuhrpark der Größenklasse GVZ 500)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

	X				
Tagesdurchsatz Soll (Mp)	1000	1000	1000	1000	1000
Sendungseingang/Tag (Mp)	1029,4	1009,0	981,4	1020,3	1012,1
Prozentabweichung v.Soll	2,94	0,90	-1,86	2,03	1,21
Sendungsausgang/Tag (Mp)	1034,3	1009,4	989,1	1019,3	1017,8
Anzahl Verteilfahrzeuge	150	155	160	180	200
Fuhrparkgröße relat. (%)	75	77,5	80	90	100
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,3	60,1	60,3	60,4	60,5
Verweilzeit (Std)	4,39	4,38	4,40	4,41	4,41
Strecke pro Mp (km)	2,93	2,97	2,98	2,98	2,99
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4510	6612	4326	4458	4465
Auslastung Fahrz. (%)	91,7	91,6	91,5	91,5	91,2
Sendungen pro Fahrt	32,4	32,0	32,3	32,3	32,0
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,49	5,48	5,53	5,54	5,53
max. Fahrzeit (Std)	9,29	9,54	9,45	9,63	9,40
Ø Fahrstrecke (km)	53,5	54,3	55,0	55,5	55,5
max. Fahrstrecke (km)	129,8	134,3	125,5	138,7	131,3
Laufzeit I Send. (Std)	9,4	8,7	8,0	7,8	7,8
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1
Laufzeit Gesamt (Std)	13,6	12,9	12,2	12,0	11,9
Auslastung Fuhrp. (%)	150,3	142,2	135,2	123,9	111,6
Strecke/Gew. (km/Mp)	11,7	11,9	12,0	12,1	12,2
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	71,8	71,8	72,5	72,7	72,7
Ø Geschwindigkeit (kmh)	9,74	9,91	9,95	10,02	10,05
Anzahl Ausgangssend.	145899	211452	139632	143815	143445
Verteilstr./Send. (km)	1,65	1,70	1,70	1,72	1,73
Lauf - Nummer	22	106	20	19	18
Datum	9.1.80	2.2.80	9.1.80	9.1.80	9.1.80
Rechenzeit (Sek.)	268,20	316,12	189,93	164,92	316,19
Simulationsdauer (Tage)	20	30	20	20	20

(X ≙ Minimalfuhrpark der Großenklasse GVZ 1000)

Tabelle A 15 : Laufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

X

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	2000	2000	2000	2000	
Sendungseingang/Tag (Mp)	2019,8	2001,1	1959,2	2102,0	
Prozentabweichung v.Soll	0,99	0,06	-2,04	5,1	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	1989,0	1972,8	1945,8	2110,2	
Anzahl Verteilfahrzeuge	280	300	320	369	
Fuhrparkgröße relat. (%)	70	75	80	90	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,3	60,5	60,3	
Verweilzeit (Std)	4,39	4,39	4,40	4,39	
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,93	2,98	2,97	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4336	4272	4208	4562	
Auslastung Fahrz. (%)	91,7	92,4	92,5	92,5	
Sendungen pro Fahrt	32,3	32,2	32,5	32,4	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,45	5,47	5,49	5,49	
max. Fahrzeit (Std)	9,52	9,22	9,48	9,42	
Ø Fahrstrecke (km)	51,9	53,0	52,6	52,9	
max. Fahrstrecke (km)	103,5	120,3	13',5	129,2	
Laufzeit I Send. (Std)	8,3	8,0	7,9	8,0	
Laufzeit II Send. (Std)	4,2	4,2	4,2	4,1	
Laufzeit Gesamt (Std)	12,5	12,2	12,1	12,1	
Auslastung Fuhrp. (%)	154,9	142,4	131,5	126,7	
Strecke/Gew. (km/Mp)	11,3	11,5	11,4	11,4	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	71,2	71,1	71,2	71,1	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	9,53	9,68	9,59	9,65	
Anzahl Ausgangssend.	139847	137646	36549	147873	
Verteilstr./Send. (km)	1,61	1,64	1,62	1,63	
Lauf - Nummer	25/II	112	24	23	
Datum	9.1.80	4.2.80	9.1.80	9.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	359,20	223,73	269,23	255,27	
Simulationsdauer (Tage)	10	10	10	10	

(X ≙ Minimalfuhrpark der Größenklasse GVZ 2000)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

X

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	5000	5000	5000	5000	
Sendungseingang/Tag (Mp)	5042,4	4820,2	5104,1	5023,8	
Prozentabweichung v.Soll	0,85	-3,60	2,08	0,48	
Sendungsausgang/Tag (Mp)	5028,3	4836,8	5113,6	5022,2	
Anzahl Verteilfahrzeuge	700	725	800	900	
Fuhrparkgröße relat. (%)	70	72,5	80	90	
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,4	60,3	60,2	60,3	
Verweilzeit (Std)	4,40	4,40	4,38	4,39	
Strecke pro Mp (km)	2,93	2,98	2,97	2,98	
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	4374	6298	4442	6587	
Auslastung Fahrz. (%)	92,0	92,2	92,1	91,5	
Sendungen pro Fahrt	32,3	32,4	32,3	32,1	
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,41	5,45	5,42	5,41	
max. Fahrzeit (Std)	9,12	9,25	9,06	9,47	
Ø Fahrstrecke (km)	50,6	51,3	51,3	51,4	
max. Fahrstrecke (km)	87,1	89,4	95,7	99,1	
Laufzeit I Send. (Std)	8,5	7,9	7,9	7,5	
Laufzeit II Send. (Std)	4,1	4,1	4,1	4,1	
Laufzeit Gesamt (Std)	12,6	12,0	12,0	11,6	
Auslastung Fuhrp. (%)	156,2	144,8	138,8	122,0	
Strecke/Gew. (km/Mp)	11,0	11,1	11,1	11,2	
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	70,6	71,6	70,7	70,9	
Ø Geschwindigkeit (kmh)	9,35	9,40	9,46	9,51	
Anzahl Ausgangssend.	141209	204293	143343	211606	
Verteilstr./Send. (km)	1,57	1,58	1,59	1,60	
Lauf - Nummer	84	120	72	78	
Datum	26.1.80	6.2.80	23.1.80	23.1.80	
Rechenzeit (Sek.)	434,93	498,77	398,26	293,68	
Simulationsdauer (Tage)	4	6	4	6	

(X ≙ Minimalfuhrpark der Großenklasse GVZ 5000)

Tabelle A 15 : Läufe zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Größenklassen von GVZ
(Nutzlast der Verteilfahrzeuge : 5000 kp)

X

Tagesdurchsatz Soll (Mp)	10000	10000	10000		
Sendungseingang/Tag (Mp)	10172,4	10167,3	10235,5		
Prozentabweichung v.Soll	1,72	1,67	2,36		
Sendungsausgang/Tag (Mp)	10146,3	10164,9	10087,9		
Anzahl Verteilfahrzeuge	1400	1500	1600		
Fuhrparkgröße relat. (%)	70	75	80		
Sim.-Ergebn. Fernfahrz.					
Fahrstrecke (km)	60,2	60,3	60,3		
Verweilzeit (Std)	4,39	4,39	4,40		
Strecke pro Mp (km)	2,97	2,93	2,97		
Sim.-Ergebn. Verteil-Fz.					
Fahrzeugausgänge	8814	8826	4364		
Auslastung Fahrz. (%)	92,1	92,1	92,5		
Sendungen pro Fahrt	32,2	32,4	32,7		
Ø Fahrzeit p.Tour (Std)	5,40	5,41	5,45		
max. Fahrzeit (Std)	9,35	9,46	9,31		
Ø Fahrstrecke (km)	50,3	50,4	50,6		
max. Fahrstrecke (km)	91,7	92,4	88,2		
Laufzeit I Send. (Std)	8,1	7,5	7,4		
Laufzeit II Send. (Std)	4,1	4,1	4,1		
Laufzeit Gesamt (Std)	12,2	11,6	11,5		
Auslastung Fuhrp. (%)	157,4	147,1	136,4		
Strecke/Gew. (km/Mp)	10,9	10,9	10,9		
Zeit/Gewicht (Min/Mp)	70,4	70,5	70,7		
Ø Geschwindigkeit (km/h)	9,32	9,31	9,28		
Anzahl Ausgangssend.	284384	285598	142496		
Verteilstr./Send. (km)	1,56	1,56	1,55		
Lauf - Nummer	120/II	103	80		
Datum	6.2.80	2.2.80	30.1.80		
Rechenzeit (Sek.)	1333,32	1264,84	439,39		
Simulationsdauer (Tage)	4	4	2		

(X ≙ Minimalfuhrpark der Größenklasse GVZ 10000)

VII. Literatur

BFG-Bundesanstalt für den Güterfernverkehr — "Unternehmen und Fahrzeuge des gewerblichen Güternahverkehrs" Stand November 1977 Band BN 1, Köln o.J.

Braun, Walter — "Die Kapazität von Güterkraftverkehrsbetrieben" Veröffentlichungen der Wirtschaftshochschule Mannheim, Reihe 1, Band 6, Stuttgart 1959

Deutsche Bundesbahn -Arbeitsstudiendezernat- — "Arbeitsstudie über die Palettierung im Stückgut- und Ladungsverkehr der Deutschen Bundesbahn" Stuttgart 1970

Doll, Rainer — "Technische Konzeptionsmöglichkeiten und deren kostenmäßige Bewertung bei der Gestaltung von Güterverteilzentralen" Diplomarbeit, Referent Prof.Dr.Rühl Karlsruhe 1975

Dornier System GmbH — "Studienergebnis 162, Kosten-Nutzen-Analyse für den LKW-Verkehr, dargestellt am Beispiel eines Ballungsraumes" Friedrichshafen 1972

" — "Gestaltung von Güterverteilzentralen" Friedrichshafen 1975

" — "Technischer Bericht 219" Friedrichshafen 1977

Dorsch Consult Ingenieursgesellschaft mbH — "Überregionales Umschlagszentrum im Raum München" München 1973

DVWG-Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V. — "Verkehr in Ballungsräumen, Städtebau-Mobilität-Energie" Schriftenreihe der DVWG, Reihe B 24, Köln-Berlin 1975

Frank, Hans-Joachim — "Analyse und Prognose des Güterverkehrs in der BRD bis zum Jahre 1990" ersch.in: DIW-Beiträge zur Strukturforschung, Heft 43/IV, Berlin 1976

Frankfurter Allgemeine Zeitung — "Gscheidle treibt Autoindustrie zur Eile" Nr. 19 vom 23.1.1980

Literatur

Hanssmann, Friedrich	"Einführung in die Systemforschung" München 1978
ITE	"Technologische Verknüpfung von Transportsystemen, Bericht 004: Güterverteilzentrale(GVZ)/Kleingut" Hamburg 1973
o.V.	"Lastauto und Omnibus Katalog 1980" Nr. 9, Stuttgart 1980
Predöhl, Andreas (Hrsg)	"Verkehr - Mit Ideen und Erfahrung in die Zukunft" Berlin 1963
Schwerdtfeger, Wilfried	"Städtischer Liferverkehr - Bestimmungsgründe, Umfang und Ablauf des Lieferverkehrs von Einzelhandels- und Dienstleistungsbetrieben" Diss., Braunschweig 1976
Seidenfuß, H-St. (Hrsg)	"Vom Güterverkehr zum Regionalverkehr" Beiträge aus dem Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität Münster, Heft 80, Göttingen 1976

Für die Annahme des Themas, die zahlreichen Hinweise und die Betreuung während der Anfertigung der Arbeit sowie die großzügige Zurverfügungstellung von Rechenzeiten bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Hanssmann ganz besonders.

Herrn Prof. Dr. Oettle danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Dank gebührt auch den Firmen und Ämtern, die im Vorwort erwähnt wurden und die durch Gespräche und Besichtigungen halfen, die Arbeit von der Praxis her abzusichern.

Nicht zuletzt ein herzliches "Dankeschön" an meine Frau Astrid, die durch ihr Verständnis und ihre unermüdliche Schreibarbeit diese Arbeit erst ermöglicht hat.

Rainer Doll

Wendelinusstr.47
7520 Bruchsal-Untergrombach

Lebenslauf

Geburt:	am 6. Dezember 1949 in Bruchsal
Eltern:	Hugo Doll, Kaufmann Lydia Doll, geb. Lumpp, Hausfrau
Schulausbildung:	1956 - 1960 Volksschule Untergrombach 1960 - 1968 Justus-Knecht-Gymnasium, Bruchsal
Wehrdienst:	1.10.1968 - 31.3.1970, Artillerie Btl. 210 in Phillipsburg
Studium:	SS 1970 - SS 1975 Wirtschaftsingenieurwesen - Fachrichtung Fertigung - an der Technischen Universität Fridericiana,Karlsruhe Abschluß im SS 1975 als Diplom-Wirtschaftsingenieur
Berufliche Tätigkeit:	1.10.1975 - 31.3.1976 Traineeprogramm bei der M.A.N. in Augsburg, Bereich Schiffsdieselmotoren 1.4.1976 - 31.3.1978 Assistent beim Hauptabteilungsleiter Betriebswirtschaft bei "Körting Radio Werke GmbH" in Grassau/Chiemgau 1.7.1978 - 30.4.1980: Tätigkeit als freiberuflicher Unternehmensberater in München seit 2.5.1980: Organisationsleiter bei Hados Möbelfabrik Doll GmbH + Co KG in Bruchsal
Heirat:	am 23.2.1980 mit Dr.Astrid Gräfin von der Goltz, Tierärztin
Anfertigung der Dissertation:	neben der Tätigkeit als Unternehmensberater in München.